Digitalzähler

POLY DIGIT 1

Wolfgang Hering

VEB POLYTECHNIK DDR KARL-MARX-STADT

Nr. 04 210

Digitalzähler



Versuchsanleitung

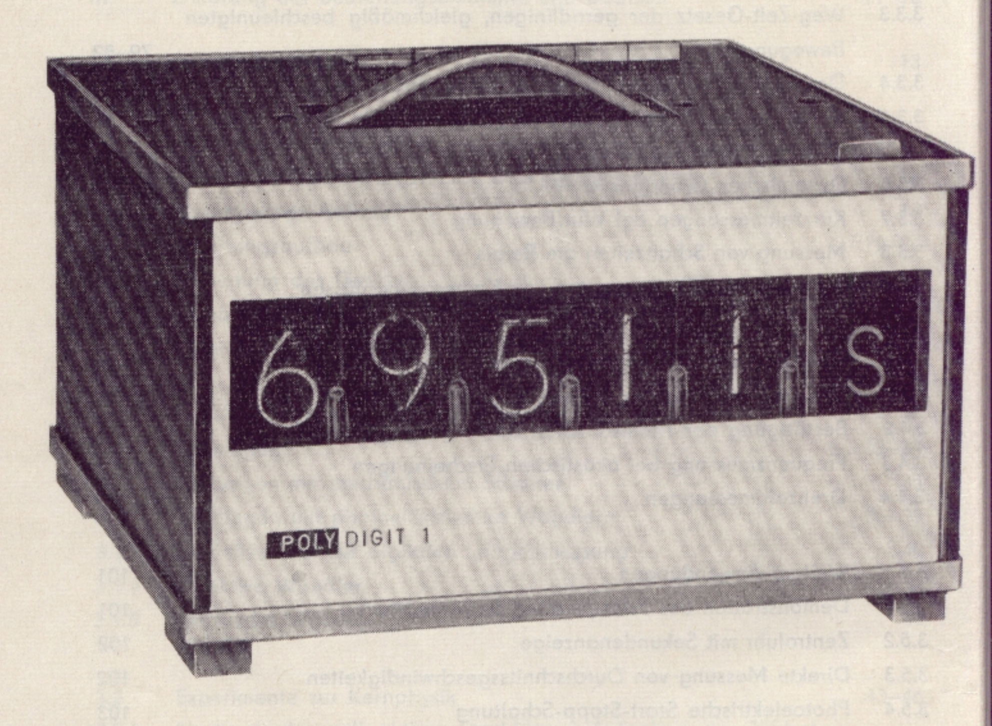


Lektorat: Abteilung Forschung und Entwicklung des VEB POLYTECHNIK
Layout: Abteilung Werbung und Messen des VEB POLYTECHNIK
Satz: Druckerei Wismut, DDR – 9033 Karl-Marx-Stadt
Druck: Buchdruckerei Annaberg-Buchholz, Betrieb der Druckwerke Hainichen, DDR – 93 Annaberg-Buchholz
Druckgenehmigung: III-1-1 Kv 936-74 10000 495

Hersteller: VEB POLYTECHNIK KARL-MARX-STADT
DDR 9023 Karl-Marx-Stadt
Schließfach 93, Melanchthonstraße 4–8
Fernruf: Sammel-Nr. 5650
Drahtwort: Polytek Karlmarxstadt
Telex: Polytek 7 - 472 Karl-Marx-Stadt

Exporteur: **intermed - export - import**
Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik
DDR – 102 Berlin, Schicklerstraße 5–7, P. O. Box 17

Inhaltsverzeichnis

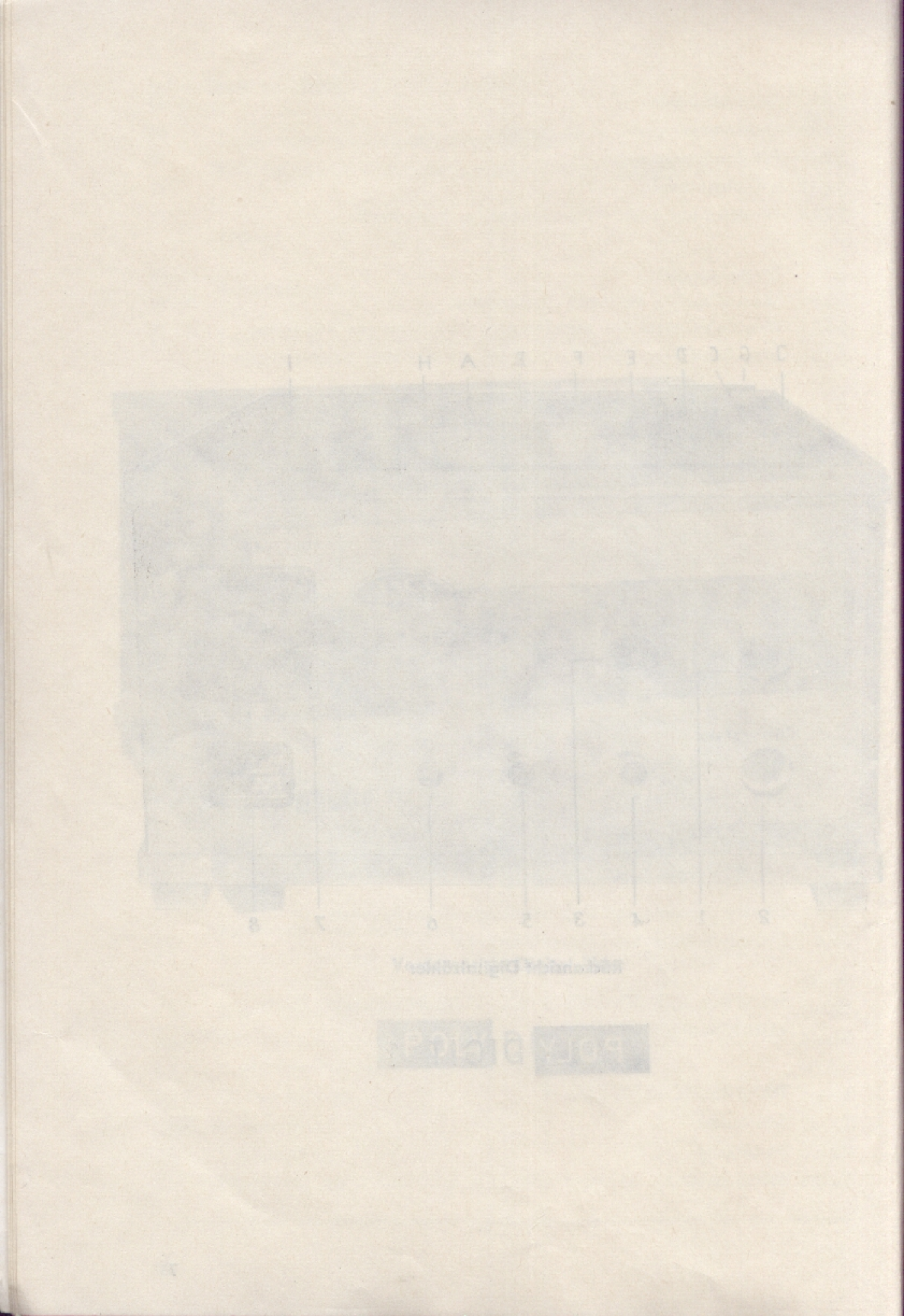


Vorderansicht Digitalzähler

POLY DIGIT 1

Rückansicht Digitalzähler





VORWORT

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt durchdringt alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens und macht auch vor der Schule nicht halt. Dieses Eindringen macht sich nicht nur durch die Veränderung des Bildungsinhaltes bemerkbar, sondern auch durch das Ablösen traditioneller Lehrgeräte durch neue bzw. durch die Erweiterung und Vervollkommnung des Geräteparks mit Geräten, die bisher kaum in einer Schulsammlung zu finden waren. Der Digitalzähler POLYDIGIT 1 ist das erste Gerät einer Serie nach dem Prinzip der komplexen Bausteine. Bei der Entwicklung konnte eine Reihe von methodischen Forderungen berücksichtigt werden. Dadurch ist ein rationeller Einsatz im Unterricht möglich; ebenso sind nur kurze Vorbereitungszeiten für den Lehrer erforderlich.

Mit der vorliegenden Broschüre wird die Absicht verfolgt, dem Lehrer beim Einsatz dieses hochwertigen Unterrichtsmittels Hilfe anzubieten. Die Anleitung ersetzt aber kein Lehrbuch der digitalen Meßtechnik oder Methodik des Physikunterrichtes. Die Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf den Digitalzähler POLYDIGIT 1 und die mit ihm durchführbaren Experimente. Die ersten beiden Abschnitte beschäftigen sich mit einigen allgemeinen Grundlagen der digitalen Meßtechnik und dem technischen Aufbau des Gerätes. Der dritte Abschnitt stellt den Hauptteil der Broschüre dar. Die einzelnen Versuchsanleitungen sind so abgefaßt, daß der Lehrer den Versuch erfolgreich durchführen kann. Daneben werden auch Hinweise zu fachlichen und methodischen Sachverhalten gegeben. Die methodischen Hinweise sind bewußt knapp gehalten, da die beschriebenen Versuche meistens in verschiedenen Klassenstufen und mit unterschiedlichen Zielsetzungen ausgeführt werden können, bei denen jeweils andere methodische Schritte zu gehen sind. Im vierten Abschnitt sind einige Hinweise zur Behebung von Störungen zusammengestellt und im fünften Abschnitt findet der interessierte Lehrer technische Unterlagen für das Gerät.

Halle, Juli 1973 — Wolfgang Hering

Betriebshinweise

- Vor der Inbetriebnahme eingestellte Netzspannung kontrollieren — Gerät ist vom Werk auf 220 V eingestellt
- Gerät ist nur für 50 Hz Wechselspannung geeignet; nicht an Gleichstrom anschließen
- Gerät vor Erschütterungen jeglicher Art und mechanischen Einwirkungen schützen
- Die Einwirkung extremer Temperaturen vermeiden
- Gerät erst in Betrieb nehmen, wenn die Gerätetemperatur der des Raumes angeglichen ist
- Gerät nicht nach jeder Messung ausschalten, sondern in Bereitschaft halten
- Maximale Eingangsspannung von $U_{max.} \leq 100$ V einhalten, anderenfalls Spannungsteiler vorschalten
- Taste "100 Hz" nicht drücken, wenn andere Impulse gezählt werden sollen
- Die Zeitbasen "1.0 s" und "0,1 s" sind bei Verwendung zu eichen
- Belastbarkeit der Spannung + 12 V und − 4 V beachten; es können nur kleine Ströme entnommen werden
- Gerät nur öffnen, wenn der Netzstecker gezogen ist

Erklärung der Bedienungselemente und Buchsen

(A) Netzschalter EIN — bei gedrückter Taste ist der Digitalzähler eingeschaltet, bei gelöster Taste ausgeschaltet, gleichzeitig erfolgt beim Einschalten die Nullstellung.

Funktionstasten

(B) Taste NULL — durch das Drücken dieser Taste wird der Zähler auf „00000" zurückgestellt.

(C) Taste MESSEN — durch das Drücken werden alle Meß- und Zählvorgänge ausgelöst bzw. ermöglicht.

Programmtasten

(D) Taste "100 Hz" — bei gedrückter Taste liegen die 100 Hz-Zeitmarken des internen, netzsynchronen Zeitmarkengebers am Zählereingang, so daß eine Zeitmessung möglich ist.

(E) Taste "1,0 s" — bei gedrückter Taste ist das Tor eine Sekunde lang geöffnet, wenn die Zählung ausgelöst wird (Eichung erforderlich!).

(F) Taste "0,1 s" — bei gedrückter Taste ist das Tor eine Zehntelsekunde lang geöffnet, wenn die Zählung ausgelöst wird (Eichung erforderlich!).

(G) Wechselschild für die Einheiten der Meßgröße.

(H) Versenkbarer Tragegriff zum sicheren Transport des Digitalzählers.

(I) Schrauben (versenkt) zum Öffnen des Gerätes.

Eingangsbuchsen

(1) Kapazitiver Impulseingang des Zählers für sinusförmige Spannungen mit einer Frequenz $>$ 1 kHz und Impulse mit steilen Flanken der Frequenz $>$ 0 Hz. An dieser Buchse sind gleichzeitig zugänglich das Tor, die Rückstellung, die Spannung +12 V und — 4 V gegen Masse.

(2) Direkter Impulseingang des Zählers für sinusförmige Spannungen mit einer Frequenz $0 \text{ Hz} < f \leq 1000 \text{ Hz}$, für Impulse mit flachen Flanken und Gleichspannung mit langsamen Pegeländerungen. An dieser Buchse sind gleichzeitig zugänglich das Tor, die Rückstellung, die Spannung +12 V und —4 V gegen Masse.

(3) Anschlußbuchse für den mechanischen Torzeitschalter (s. Abschnitt 3.3).

Wellen

(4) Potentiometerwelle zur Eichung der Zeitbasis von 1,0 Sekunden.

(5) Potentiometerwelle zur Eichung der Zeitbasis von 0,1 Sekunden.

(6) Schalter für die Komma-Glimmlampen, mit dem das Komma an jede beliebige Stelle gerückt oder ausgeschaltet werden kann.

(7) Kombiniertes Sicherungs -und Spannungswahl-Element — vor Inbetriebnahme des Digitalzählers die eingestellte Spannung überprüfen! Bei Sicherungswechsel nur die angegebenen Sicherungen verwenden.

(8) Gerätesteckdose zum Anschluß des Digitalzählers an die Netzspannung.

Weitere Erklärungen und Hinweise befinden sich in den Abschnitten 2.3 und 2.4.

Technische Daten

Abmessungen	
Breite	255 mm
Höhe	156 mm
Tiefe	248 mm
Masse ohne Zubehör	4,5 kg
Anwendungsbereich	Impulszählungen Kurzzeitmessungen Frequenzmessungen Drehzahlmessungen Addition beliebiger Impulsfolgen
Zähldekaden	3, kann auf 4 oder 5 erweitert werden
Zählkapazität	$10^3 - 1$ bis $10^5 - 1$ Impulse
Zählfrequenz	$f \leq 150$ kHz (mit Zählbaustein Z 1) $f \leq 1{,}5$ MHz (mit Zählbaustein Z 2 in der 1. Dekade)
Impulseingang	
eff. Eingangsspannung	≥ 1 V
max. Eingangsspannung	≤ 100 V
Eingangswiderstand	≥ 20 kΩ
Torstufe	
Tor offen	$\leq 0{,}5$ V
Tor geschlossen	≥ 5 V
Eingangswiderstand	≤ 2 kΩ
interne Zeitmarken	$f = 100$ Hz $\pm 2\,\%$, netzsynchron
interne Zeitbasis	1,0 s; 0,1 s (eichbar)
Ziffernhöhe	30 mm
max. Betrachtungsabstand	18 m
Anzeige der Maßeinheiten	vor Leuchtfeld, Symbole beliebig wechselbar
Kommaschaltung	manuell
Netzanschlußspannung	220 V $^{+10\,\%}_{-15\,\%}$, 50 Hz
Umgebungstemperatur	$-10\,°C \ldots +70\,°C$
Erweiterung	durch beliebige Bausteine für alle Meßaufgaben

1. DIGITALE MESSTECHNIK

Die Gewinnung von quantitativen Aussagen über physikalische Erscheinungen und Vorgänge ist ohne genaue und zweckmäßige Meßgeräte undenkbar. Für die Schulphysik sind bisher analoge[1]) Meßgeräte (zum Beispiel Zeigerinstrumente, Oszillographen) vorherrschend, während digitale[2]) Meßgeräte nicht zur Verfügung stehen. Die technische Entwicklung ist jetzt so weit vorangeschritten, daß es möglich ist, den Schulen den hochwertigen digitalen Zähler POLYDIGIT 1 mit netzsynchroner Zeitmeßfrequenz zu liefern, der alle Forderungen der Schulpraxis erfüllt.

Was unterscheidet nun analoge und digitale Meßverfahren beziehungsweise -geräte? Beschränken wir uns bei den folgenden Betrachtungen zunächst auf die Messung einer elektrischen Größe wie Spannung oder Stromstärke.

Legt man an ein analoges Meßgerät eine Spannung, so erfolgt eine der Meßgröße entsprechende Auslenkung, zum Beispiel Drehung des Zeigers um einen bestimmten Winkel, Auslenkung des Leuchtflecks eines Oszillographen. Verändert sich der Betrag der Meßgröße, so ändert sich auch die Auslenkung gleichsinnig, das heißt analog. Jedem Betrag der Meßgröße ist so eine ganz bestimmte Auslenkung zum Beispiel des Zeigers zugeordnet. Der Experimentator hat die Aufgabe, die Auslenkung auf der Skale abzulesen und so den Betrag der Größe festzustellen. Da in den seltensten Fällen der Zeiger genau auf einem Skalenstrich stehen wird, müssen Zwischenwerte geschätzt werden. Die Ablesung wird somit von subjektiven Faktoren abhängig, der Ablesegenauigkeit ist eine Grenze gesetzt, Fehler durch falsches Ablesen oder Parallaxe treten auf. Auch durch objektive Faktoren wie Abstand der Teilung und Breite der Zeiger, Empfindlichkeit des Gerätes, Größe der Umkehrspanne und anderes wird die Ablesegenauigkeit beschränkt.

Bei einem digitalen Meßgerät ruft eine angelegte Spannung nicht unmittelbar eine entsprechende Anzeige hervor. Jede Größe, die erfaßt werden soll, muß quantisiert und kodiert werden.

Diese Quantisierung der analogen Größe erfolgt in der elektronischen Meßtechnik mittels Analog-Digital-Umsetzern oder -Wandlern (kurz AD-Umsetzer oder AD-Wandler). Zum leichteren Verständnis der AD-Umsetzung sei von den vielen Möglichkeiten die folgende dargestellt: Die Quantisierung einer Spannung kann so erfolgen, daß jedem Betrag eine bestimmte Impulsfrequenz zugeordnet ist, zum Beispiel

1,000 V ≙ 1000 Hz,
1,001 V ≙ 1001 Hz,
1,002 V ≙ 1002 Hz,
....
1,035 V ≙ 1035 Hz,
....

1) analog (grch.) = entsprechend, gleichartig
2) digital (lat.), digit (engl.) = ziffernmäßig, in Zahleneinheiten

Durch einen Digitalzähler werden nun diese n Impulse während einer vorgegebenen Abfragezeit t gezählt. Die Impulsfrequenz errechnet sich zu $f = \frac{n}{t}$
Wählt man die Abfragezeit t günstig, zum Beispiel eine Sekunde, so zeigt der Zähler sofort die Spannung in mV an. Der Zähler nimmt dabei gleichzeitig die Kodierung in eine Dezimalzahl vor. Bevor ein neuer Meßzyklus gestartet werden kann, muß der Zähler erst auf NULL gestellt werden (Rückstellung). Bei Geräten mit hohem Bedienungskomfort ist eine Wiederholungsautomatik eingebaut, die die Rückstellung des Zählers nach einer vorgegebenen Zeit selbsttätig durchführt und einen neuen Meßzyklus einleitet.

Die AD-Umsetzung einer Spannung in eine Frequenz kann mit einem abgewandelten astabilen Multivibritator oder einem Sperrschwinger erfolgen.

Bei einer Reihe von Meßverfahren ist keine AD-Wandlung erforderlich, etwa bei Zeit-, Frequenz- und Drehzahlmessungen. Hier ist die Größe bereits quantisiert. Ein wesentlicher Vorteil der digitalen Meßgeräte gegenüber den analogen besteht in der eindeutigen Anzeige des Meßwertes und der größeren Genauigkeit der Messung. Da die Quantisierung in sehr kleinen Einheiten erfolgen kann, ist die Meßgenauigkeit sehr hoch. Allerdings steigt damit auch der technische Aufwand (und damit auch der Preis) solcher Geräte beträchtlich.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, daß analoge Meßgeräte ein besseres dynamisches Verhalten zeigen als digitale, das heißt die Auslenkung folgt der Änderung der Meßgröße sofort. Aus der Beobachtung eines analogen Meßgerätes kann im allgemeinen eine größere Information entnommen werden als bei einem digitalen. Der Lehrer muß deshalb bei jeder Messung entscheiden, welches Meßgerät verwendet werden soll. Als Faustregeln können folgende

Hinweise aufgefaßt werden:

- **Digitale Meßgeräte** sind für die Messung statischer Größen einzusetzen, die über einen längeren Zeitraum, mindestens über die Abfragezeit, konstant bleiben, wie Spannung und Stromstärke im Gleichstromkreis, konstante Frequenzen, Drehzahlen und Geschwindigkeiten, Zeiten. Bei Änderung der Meßgröße während der Abfragezeit wird der statistische Mittelwert für das Zeitintervall angezeigt (integrierende Messung).

- **Analoge Meßgeräte** sind für die Messung und Beobachtung sich verändernder Größen einzusetzen, bei denen ein funktionaler Zusammenhang besteht, wie Abhängigkeit des Lade- oder Entladestromes eines Kondensators von der Zeit, direkte Geschwindigkeitsmessung bei der beschleunigten Bewegung zum Nachweis von $v = a \cdot t$, Änderung des Widerstandes eines metallischen oder Halbleiterwiderstandes durch Erwärmung und anderes mehr.

Jede Messung ist mit Meßfehlern behaftet, so auch solche, die mit digitalen Meßgeräten durchgeführt werden.

Die größten Meßfehler treten bei der AD-Umsetzung auf, vor allen Dingen durch Linearitätsfehler. Dieser Fehler entsteht dadurch, daß die Umsetzung nicht streng der Beziehung

$$f = b \cdot x, \; b = \text{konst.}$$

folgt, sondern $b = b\,(x)$ ist (x = Meßgröße, f = Impulsfrequenz).

Durch die Auswahl geeigneter Schaltungen und hohen technischen Aufwand läßt sich dieser Fehler klein halten.

Wird der zu messenden Gleichgröße eine Störgröße, etwa durch Einstreuungen aus dem Stromversorgungsnetz, überlagert, so werden falsche Umsetzungen vorgenommen. Solche Störgrößen werden durch Dämpfungsglieder unterdrückt; auch abgeschirmte Leitungen verhindern solche Einstreuungen.

Die eigentlichen Zählschaltungen arbeiten von der Frequenz > 0 Hz bis zur angegebenen oberen Grenzfrequenz fehlerfrei. Selbst Impulse, die durch die Übertragung verformt wurden, werden registriert, wenn sie oberhalb der Ansprechspannung der Eingangsschaltung des Zählers liegen. Dabei ist es für die Zählschaltung völlig belanglos, wie diese Impulse erzeugt werden, ob durch einen AD-Umsetzer, eine Photodiode, einen induktiven Geber oder ein Geiger-Müller-Zählrohr.

Ein Fehler von ± 1 Impuls ist bei jeder Zählung zu berücksichtigen. Dieser entsteht durch das willkürliche Öffnen und Schließen des Tores beim Beginnen und Beenden einer Zählung. Mit Hilfe des Bildes 1 soll das erläutert werden.

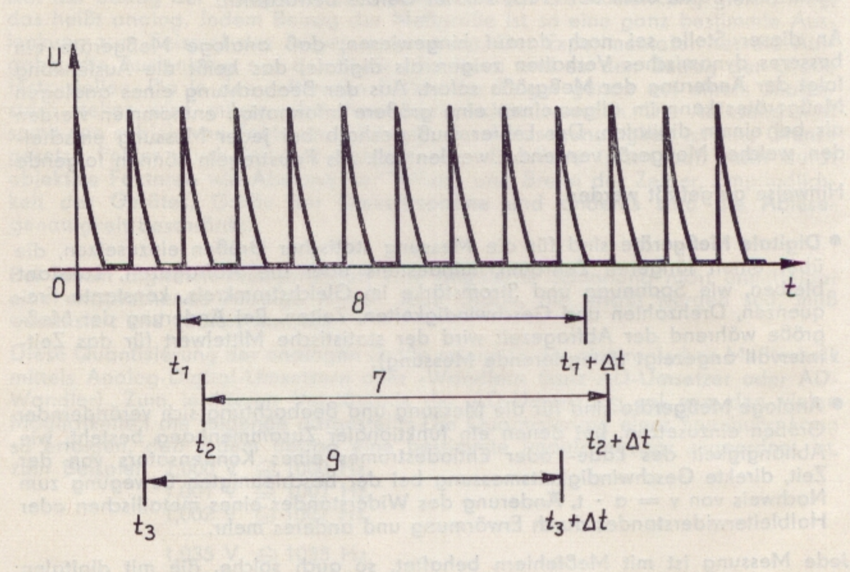


Bild 1 Zur Entstehung des Fehlers von ± 1 Einheit durch die Torsteuerung

Am Eingang des Zählers steht eine periodische Folge von Impulsen zur Verfügung. Während einer vorgegebenen Zeit $\triangle t$ soll die Impulszahl z bestimmt werden. Wird das Tor zur Zeit t_1 geöffnet und zur Zeit $t_1 + \triangle t$ geschlossen, so werden acht Impulse gezählt; das Öffnen und Schließen erfolgte gerade zwischen zwei Impulsen.

Im zweiten Fall erfolgt die Toröffnung zur Zeit t_2, gerade nach dem Passieren eines Impulses und das Schließen nach dem Zeitintervall $\triangle t$, also zur Zeit $t_2 + \triangle t$, hier vor Beginn des nächsten Impulses; es werden nur sieben Impulse gezählt.

Schließlich kann das Tor gerade dann geöffnet werden, wenn ein Impuls ankommt, zur Zeit t_3. Nach dem vorgegebenen Intervall $\triangle t$, also zur Zeit $t_3 + \triangle t$, wird das Tor geschlossen, ein weiterer Impuls wird noch wirksam; es werden neun Impulse gezählt.

Bei einer nicht synchronisierten Torschaltung, wie sie im **POLYDIGIT 1** auch verwendet wird, ist somit stets mit einem absoluten Fehler von $\triangle z = \pm 1$ Einheit der letzten Stelle zu rechnen. Daraus ergibt sich eine wichtige Schlußfolgerung:

Um den relativen Fehler einer Messung (bzw. Zählung) möglichst klein zu halten, müssen viele Impulse registriert werden. Wird ein relativer Fehler $\frac{\triangle z}{z} = 10^{-2}$ gefordert, so sind 100 Impulse zu zählen. Diese Überlegungen sind sehr wichtig für Kurzzeitmessungen, für die Bestimmung kleiner Frequenzen und ähnliche Aufgaben. Wird zum Beispiel die Zeit gemessen, die ein frei fallender Körper aus der Ruhelage für die ersten 5 cm benötigt (etwa 0,1 s), so tritt im ungünstigsten Fall bei einer Zeitmeßfrequenz von 100 Hz ein relativer Fehler von 10 % auf. Steht eine Meßfrequenz von 1000 Hz zur Verfügung, so ist unter den genannten Bedingungen mit einem Fehler von 1 % zu rechnen. Die Erfahrung lehrt, daß bei mehrfachen Wiederholungen die ungünstigsten Fälle sehr selten auftreten; zum anderen muß man die Meßstrecke der erreichbaren Genauigkeit anpassen.

2. AUFBAU UND ARBEITSWEISE DES POLYDIGIT 1

Der Digitalzähler POLYDIGIT 1 ist ein Komplexgerät, das speziell für die Bedürfnisse der Schulpraxis entwickelt wurde. Unter Komplexgeräten versteht man Unterrichtsmittel (Lehrgeräte), die relativ selbständige Funktionsgruppen darstellen, die untereinander, aber auch mit anderen Baugruppen zu Gerätekombinationen mit erweitertem Funktionsbereich zusammengestellt werden können.

Diese Art von Lehrgeräten erweist sich gegenüber den Aufbau- und Festgeräten für den Physikunterricht als zweckmäßig, da sie vielseitig verwendbar sind, stets für die jeweilige Aufgabe erweitert werden können, mannigfaltige Kombinationen gestatten, übersichtlich sind, eine gute methodische und ästhetische Gestaltung ermöglichen und eine vertretbare ökonomische Lösung darstellen.

Das Gerät ist so konstruiert, daß es für eine Vielzahl von Versuchen des Physikunterrichts, des physikalischen Praktikums, der technischen Arbeitsgemeinschaften, des polytechnischen und berufsbildenden Unterrichts eingesetzt werden kann, insbesondere für Zählungen beliebiger Objekte, für Zeit-, Frequenz- und Drehzahlmessungen.

In der praktischen Arbeit werden sich viele neue Anwendungsgebiete ergeben.

2.1 Mechanischer Aufbau

Die zweckmäßige Anordnung der Bedienungselemente und Steckbuchsen, die ästhetische Gestaltung des Gehäuses und der Frontseite sind für eine sichere, unkomplizierte Handhabung und einen methodisch wirkungsvollen Einsatz im Unterricht sehr wichtig. Diese und noch weitere Gründe (wie Betriebssicherheit, Aufbewahrung, Handlichkeit, kurze Zugriffszeiten) waren entscheidend für das Abgehen von der traditionellen Gestaltung elektronischer Geräte.

Der äußere Aufbau des POLYDIGIT 1 ist bewußt einfach gehalten. An der Frontseite ist ein Fenster für die Ziffernanzeigeröhren und die auswechselbaren Einheitenschilder angeordnet. Zur Verbesserung des Kontrastes hat das Ziffernfenster einen Rotfilterlacküberzug. Die Einheitensymbole, die von oben gewechselt werden können, werden von hinten durchleuchtet; sie sind hell auf schwarzer Umgebung. Durch eine klappbare Anstellstütze am Boden des Gerätes kann die Frontseite zur bequemeren Ablesung der Meßwerte hochgestellt werden.

Die Oberseite trägt die Bedienungselemente. Durch diese Anordnung kann das Gerät beim Drücken der Tasten nicht verschoben werden und gleichzeitig ist das Bedienen von allen Seiten möglich. Um die Anzeige nicht zu verdecken, wird der Lehrer neben oder hinter dem Gerät stehen; beim Einsatz im Praktikum ist das Betätigen auch von einer sitzenden Person möglich.

Für den sicheren Transport ist auf der Oberseite ein versenkbarer Trageriemen vorgesehen. Alle Elemente sind so angeordnet, daß Geräte mit dem gleichen TGL-Gehäuse gestapelt werden können.

Durch das Lösen der versenkten Schrauben beiderseits des Trageriemens läßt sich die obere Gehäusewand entfernen. An diesem Teil ist auch das Lampengehäuse mit Mattscheibe und Schacht für die Einheiten befestigt. Werden die beiden M 3-Schrauben gelöst, die das Chassis mit dem Tastensatz halten, so können der obere Gehäuserahmen und danach sämtliche Seitenwände des Gerätes entfernt werden. Bei erforderlichen Reparaturen sind so alle Seiten des Gerätes leicht zugänglich. Auch die Bodenplatte wird nur von zwei Schrauben gehalten.

Auf dem unteren Gehäuserahmen sind auf Winkelschienen die 15poligen Buchsenleisten für die einzelnen Bausteine befestigt. An der Rückseite ist ein kleines Chassis für den Tastensatz, die Buchsen, die Potentiometer usw. angebracht. Die elektrischen Verbindungen zwischen den Bausteinen sind zum Teil in gedruckter, zum Teil in herkömmlicher Verdrahtung ausgeführt.

Die Rückwand trägt zwei fünfpolige Diodenbuchsen, eine Spezialbuchse für den Anschluß des mechanischen Torzeitschalters, die Einstellregler und den Kommaschalter. Über dem Kaltgerätestecker ist das kombinierte Sicherungs- und Netzspannungswahlelement angeordnet.

Die unter den Buchsen usw. stehenden Ziffern sind im Text zur besseren Verständigung wiederzufinden. Der andere Teil der Beschriftung hat nur orientierenden Charakter. Die Buchsen sind vollständig beschaltet (siehe Abschnitt 2.3 und 2.4).

2.2 Schaltungsaufbau

Die gesamte Schaltung des digitalen Zählgerätes POLYDIGIT 1 ist im Bild 5.1 dargestellt. Die einzelnen Baugruppen sind auf steckbaren Leiterplatten angeordnet. Soweit es sich um gleiche Baugruppen handelt (Zähler- und Anzeigebausteine), sind sie untereinander austauschbar. Alle Schalt- und Verstärkerfunktionen werden durch Transistoren und Halbleiterdioden ausgeführt; die Anzeige erfolgt durch Ziffernanzeigeröhren.

Das Kernstück des POLYDIGIT 1 ist der vier Dekaden umfassende Zähler mit einer oberen Grenzfequenz von 150 kHz. Durch die Anschaffung einer weiteren Dekade kann das Gerät zu einem fünfstelligen Zähler mit einer oberen Grenzfrequenz von 1,5 MHz erweitert werden (siehe Abschnitt 2.5).

Die Arbeitsweise der Zähl- und Anzeigebausteine, die in dem Gerät POLYDIGIT 1 eingesetzt werden, soll im folgenden prinzipiell erklärt werden.

Zur Zählung der durch die Quantisierung gewonnenen elektrischen Impulse werden bistabile Multivibratoren (auch als "Flip-Flop" bezeichnet) verwendet; das sind elektronische Schaltungen, die zwei stabile Zustände (O und L) einnehmen können.

Das Bild 2.1 zeigt den Stromlaufplan eines Flip-Flops.

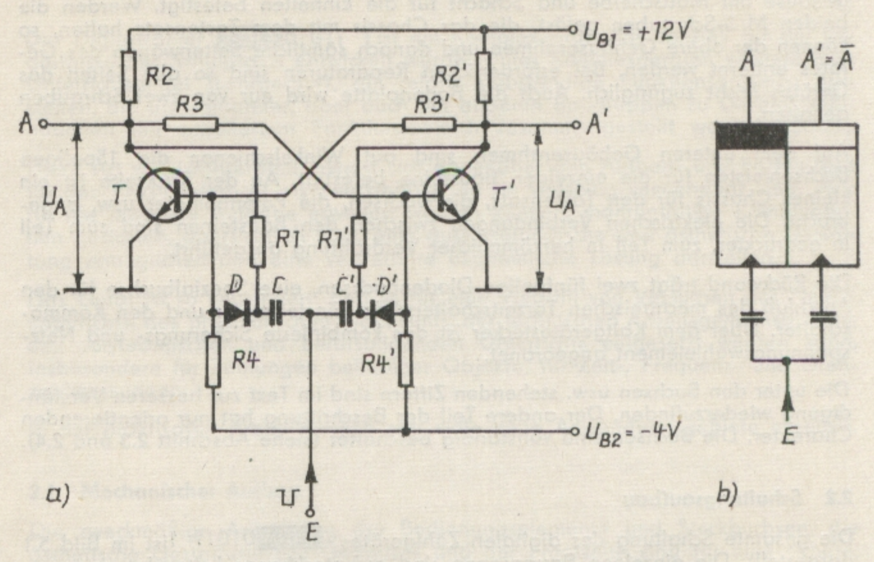


Bild 2.1 a) Stromlaufplan eines bistabilen Multivibrators und
b) zugehöriges Blockschaltbild. Das schwarze Feld zeigt den Zustand L an.

Wie der Schaltung zu entnehmen ist, handelt es sich um zwei durch R 3 und R 3′ galvanisch gekoppelte Schaltstufen. Angenommen der Transistor T sei leitend, so ist seine Emitter-Kollektor-Spannung $U_{EK} = U_A \approx 0\,V = 0$[1]), somit ist auch die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke von T′ $U_{EB}' = 0\,V$. Der Transistor T′ ist gesperrt und die Spannung an seiner Emitter-Kollektor-Strecke $U_{EK}' = U_A' \approx 12\,V \triangleq L$, da $R2' \ll R_{EK}'_{(sperr)}$ ist. Gleichzeitig erhält die Diode D′ an der Katode eine positive Vorspannung über R1′, so daß D' gesperrt ist, während die Diode D durch die Spannung $U_{EK} \approx 0\,V$ nicht gesperrt ist.

1) Bei den Zählbausteinen Z 1 entspricht der Zustand O einer Spannung von 0 . . . 0,8 V und der Zustand L einer Spannung von 9,0 . . . 12 V.

Gelangt ein negativer Impuls an den gemeinsamen Eingang E, so wird durch ihn der Transistor T gesperrt und durch die galvanische Kopplung T′ leitend, $U_A' \approx 0\,V \triangleq O$; in diesem Fall ist das Impulstor (bestehend aus C, D und R1) vom Transistor T gesperrt.

Der nächste negative Impuls kann nur den jetzt nicht gesperrten Transistor T′ beeinflussen, und dieser kippt dann T in den leitenden Zustand usw. Durch diese Schaltung wird also erreicht, daß jeder negative Impuls, der über den Eingang E ankommt und einen entsprechenden Schwellwert überschreitet, die Ausgangsspannung U_A' in den Zustand L oder O und U_A in den negierten Zustand O oder L versetzt, je nachdem, welcher Zustand vorher bestanden hat. Die Spannung von — 4 V sorgt dafür, daß die Zustände O und L sicher eingenommen werden.

Durch die Zusammenschaltung n solcher bistabiler Kippstufen lassen sich nicht nur zwei Impulse eindeutig abzählen, sondern 2^n. Für das Zählen von 10 Impulsen (0, 1, ... , 9) sind somit mindestens vier Flip-Flops (FF) erforderlich. Die Zusammenschaltung von vier Flip-Flops zu einer Zähldekade zeigt Bild 2.2 an Hand der Blockschaltbilder.

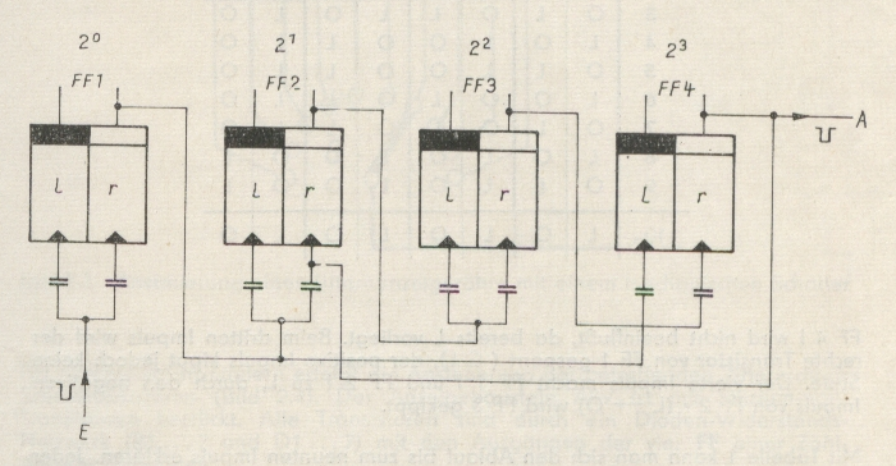


Bild 2.2 Blockschaltbild einer Zähldekade nach dem 1-2-4-8-Kode

Mit vier FF können $2^4 = 16$ Impulse (0, 1, 2, ..., 15) gezählt werden, jedoch werden für eine Dekade nur die zehn Zustände von 0 bis 9 benötigt. Bei der angegebenen Schaltung befinden sich durch die Rückstellung (nicht gezeichnet) alle linken Transistoren im Zustand L; dies entspricht der Zahl "0". Der erste Impuls kippt FF 1, so daß links der Zustand O und rechts L auftritt. Beim zweiten Impuls wird von FF 1 wieder der ursprüngliche Zustand eingenommen, durch den Übergang L ⟶ O wird aber ein negativer Impuls an FF 2 und FF 4 l abgegeben und von FF 2 nimmt r den Zustand L ein (Tabelle 1).

Tabelle 1: Innere Zustände der binären Zählschaltung für die ersten 10 Impulse

Impuls	FF 1		FF 2		FF 3		FF 4	
	l	r	l	r	l	r	l	r
0	L	O	L	O	L	O	L	O
1	O	L	L	O	L	O	L	O
2	L	O	O	L	L	O	L	O
3	O	L	O	L	L	O	L	O
4	L	O	L	O	O	L	L	O
5	O	L	L	O	O	L	L	O
6	L	O	O	L	O	L	L	O
7	O	L	O	L	O	L	L	O
8	L	O	L	O	L	O	O	L
9	O	L	L	O	L	O	O	L
10	L	O	L	O	L	O	L	O

FF 4 l wird nicht beeinflußt, da bereits L vorliegt. Beim dritten Impuls wird der rechte Transistor von FF 1 gesperrt ($\triangleq$ L), der positive Impuls kippt jedoch keine Stufe. Der vierte Impuls macht FF 1 l und FF 2 l zu L, durch den negativen Impuls von FF 2 r (L ⟶ O) wird FF 3 gekippt.

Mit Tabelle 1 kann man sich den Ablauf bis zum neunten Impuls erklären. Jeder zehnte Impuls kippt FF 1 r und FF 4 r von L auf O, durch den negativen Impuls von FF 4 r wird FF 2 im alten Zustand belassen ,so daß die Dekade den gleichen Zustand wie vor dem ersten Impuls hat — der zehnte Impuls wird zur zweiten Dekade geleitet.

Der Zustand jeder Zähldekade muß nun durch die Schaltstufen und die Ziffernanzeigeröhren als Ziffer sichtbar werden. Die Ziffernanzeigeröhre Z 5660 M ist eine Gasentladungsröhre, bei der die Glimmentladung um die Katode ausgenutzt wird. Die gemeinsame Anode ist als Käfig ausgeführt, der vorn netzartig durchbrochen ist. Die als Ziffern 0 ... 9 ausgebildeten Katoden sind hintereinander angeordnet und vom Anodenkäfig umschlossen. Anode und Katode sind an Sockelstifte geführt.

Aus Bild 2.3 ist zu ersehen, wie die zehn Ziffern durch einen mechanischen Schalter angesteuert werden können. Nur die Glimmstrecke (Ziffer) kann aufleuchten, die durch den Schalter S in den Stromkreis geschaltet wird.

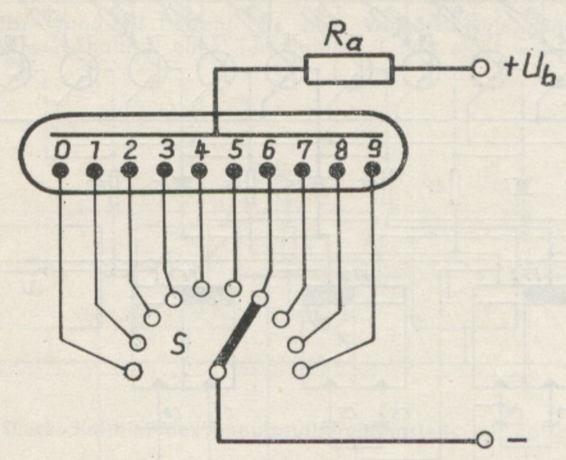


Bild 2.3 Ansteuerung einer Ziffernanzeigeröhre mit einem mechanischen Schalter

Bei elektronischen Zählern erfolgt die Ansteuerung der betreffenden Ziffern durch Schalttransistoren (Bild 2.4). Der Anzeigebaustein A2V ist mit Silizium-npn-Transistoren bestückt. Alle Transistoren sind durch ein Dioden-Widerstands-Netzwerk (R1 ... 7 und D1 ... 7) mit den Ausgängen der vier FF einer Zähldekade verbunden.

Der Transistor, der die im Zähler gespeicherte Zahl ansteuert, ist leitend, alle anderen sind gesperrt, das heißt an der Basis dieser Transistoren liegt eine Spannung, die $U \leq 0$ V ist. Die gesperrten Transistoren haben einen großen Emitter-Kollektor-Widerstand (das entspricht einem geöffneten Schalter), so daß an ihnen die Hilfsspannung von rund 66 V abfällt. Da über diese Transistoren infolge der Sperrung kein Strom fließen kann, kommt auch keine Glimmentladung zustande. Ein Transistor hat aber eine positive Spannung an der Basis, wodurch ein Emitter-Kollektor-Strom fließt (das entspricht einem geschlossenen Schalter); der Spannungsabfall an der Emitter-Kollektor-Strecke ist sehr klein und die Glimmstrecke zündet.

Das Dioden-Widerstand-Netzwerk sorgt dafür, daß die Ziffer angesteuert wird, die im Zähler gespeichert ist. Im Anzeigebaustein A2V wird ein vereinfachtes Netzwerk verwendet, das die Doppelansteuerung der Transistoren ausnutzt.

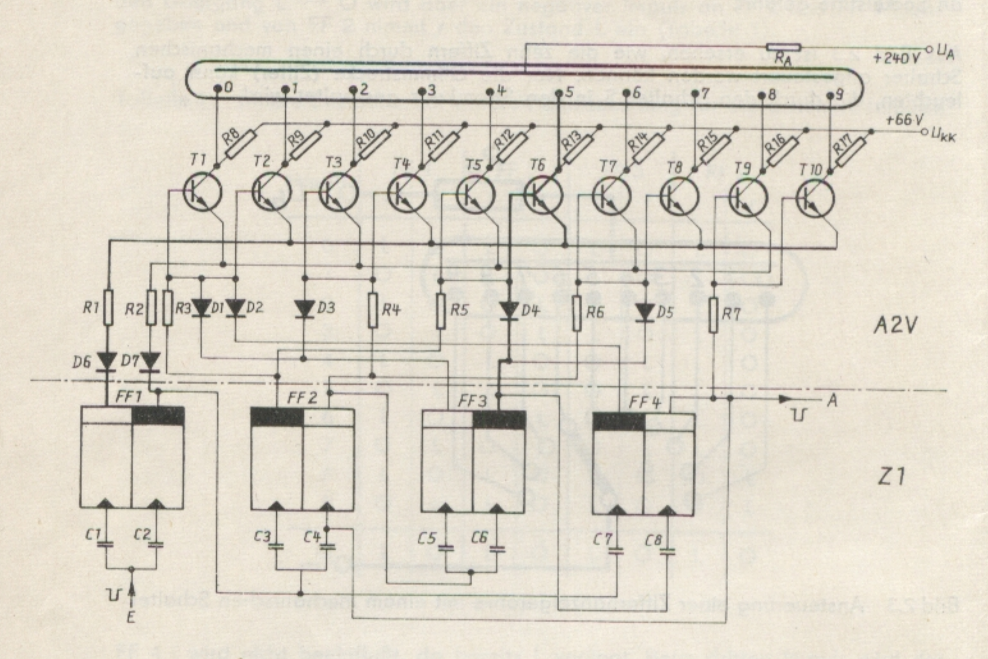


Bild 2.4 Elektronische Ansteuerung einer Ziffernanzeigeröhre. Leitungsweg für Ziffer "5" dicker gezeichnet.

Im Bild 2.4 erkennt man aus der Schaltung, wie die Schalttransistoren mit den Flip-Flops verbunden sind. FF 1 schaltet alle Emitter der ungeraden Ziffern oder alle geraden zusammen auf die Spannung 0 V (erste Ansteuerung). Mit den restlichen FF braucht nur noch zwischen den Ziffernpaaren 0,1 — 2,3 — 4,5 — 6,7 — 8,9 unterschieden werden. Im Bild 2.4 ist für die Ziffer "5" der Leitungsweg fett gedruckt. Die schwarzen Felder der bistabilen Multivibratoren geben den jeweileigen L-Zustand an ($L \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + L \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 = 5$). Die Dioden D1 ... D5 kann man sich durch ohmsche Widerstände ersetzt denken, durch sie wird der Aufbau des Netzwerkes unkritisch.

Die positive Spannung des FF 3 r (L-Zustand) liegt an der Basis von Transistor T6 über der Diode D4. T6 geht dadurch in den leitenden Zustand über und es fließt ein Strom, der die Ziffer „5" aufleuchten läßt (zweite Ansteuerung). Auch der Transistor T8 ist mit dem rechten Teil des FF 3 verbunden, jedoch kann die Basis keine zum Aussteuern benötigte positive Spannung erhalten, da durch den Widerstand R6, der an FF 2 r liegt, die Spannung etwa 0 V ist. Für die anderen Ziffern kann man analoge Betrachtungen anstellen.

Für ein fehlerfreies Zählen ist es unwichtig, ob während des Zählvorganges alle Ziffern folgen können; entscheidend ist das einwandfreie Arbeiten des Zählerbausteines bis zur angegebenen Grenzfrequenz, der nach dem Beenden des Vorganges die richtige Ziffer einschaltet.

Der Zählbaustein arbeitet nur dann einwandfrei, wenn die Impulse eine steile Schaltflanke haben (für Z1 wird eine Schaltzeit von 50 ns pro Volt verlangt). Der Zähler muß aber die verschiedensten Impulsformen verarbeiten können, besonders bei den häufig wechselnden Forderungen des Physikunterrichtes. Die Formung beliebiger Impulse in Rechteckimpulse wird durch den Impulsbaustein I1 vorgenommen und zwar durch den Impulsaufbereitungsteil.

Der Impulsaufbereitungsteil besteht aus einer Verstärkerstufe, einem Schmitt-Trigger (Schwellwertschalter), einer Torschaltung T und einer weiteren Verstärkerstufe (Bild 2.5).

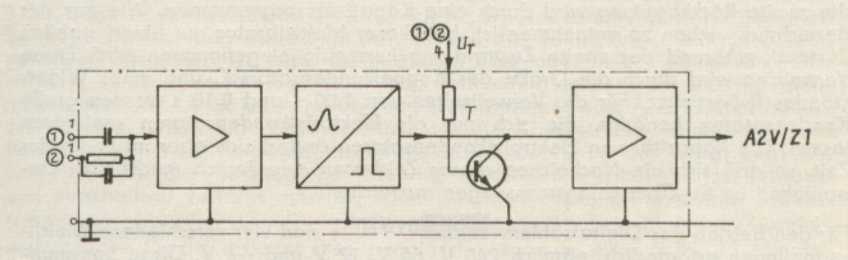


Bild 2.5 Blockschaltbild des Impulsaufbereitungsteils mit Torschaltung

Die erste Verstärkerstufe wird entweder direkt angesteuert (für $0\ \text{Hz} < f \leq 1000\ \text{Hz}$ über Buchse (2), Kontakt 1) oder über einen Koppelkondensator (für $1\ \text{kHz} \leq f \leq 150\ \text{kHz}$ über Buchse (1), Kontakt 1). Der Einstellregler (Bild 5.2) gestattet die kontinuierliche Einstellung der Eingangsempfindlichkeit zwischen 1 V (Effektivspannung bei 1 kHz) und 100 V (Maximalspannung). Das verstärkte Eingangssignal gelangt nun zum Schwellwertschalter. Dieser formt aus beliebigen Impulsen, wenn sie den Schwellwert U_S erreichen, einen Rechteckimpuls (Bild 2.6). Die drei Impulse sind stellvertretend für die entsprechenden Impulsfolgen anzusehen.

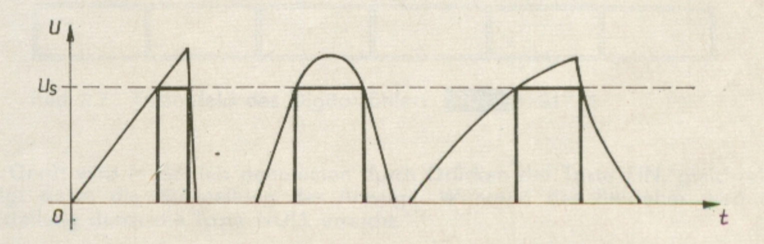


Bild 2.6 Schematische Darstellung zur Formung beliebiger Impulse in Rechteckimpulse durch den Schmitt-Trigger

Zwischen Schmitt-Trigger und zweiter Verstärkerstufe ist die Torschaltung T angeordnet. Diese Torstufe ist ein Transistor, der im gesperrten Zustand ($U_T \leq$ 0,5 V) einen hohen Widerstand zwischen der Signalleitung und Masse darstellt — die Impulse gelangen vom Schwellwertschalter zum Verstärker, das Tor ist geöffnet. Wird an die Basis des Transistors eine positive Spannung $U_T \geq 5$ V gelegt, so wird er durchgesteuert und stellt einen Kurzschluß zwischen der Signalleitung und Masse dar, es kommen keine Impulse zum Verstärker, das Tor ist geschlossen.

Die abschließende Verstärkerstufe soll eine Rückwirkung der folgenden Stufen auf den Schmitt-Trigger vermindern, zum anderen kann dadurch der Ausgang des Impulsaufbereitungsteiles höher belastet werden.

Der Impulsbaustein I1 ist noch mit einem monostabilen Multivibrator bestückt; dieser wird beim POLYDIGIT 1 für die Gewinnung einer Zeitbasis von 1,00 s und 0,10 s verwendet. Ein monostabiler Multivibrator (auch Monoflop oder Univibrator genannt) ist ähnlich wie ein bistabiler aufgebaut, die Kopplung zwischen den Stufen erfolgt aber nur einmal galvanisch durch einen ohmschen Widerstand, die zweite Rückkopplung wird durch eine Kapazität vorgenommen. Wie aus der Bezeichnung schon zu entnehmen ist, hat dieser Multivibrator nur einen stabilen Zustand, während der zweite Zustand nur kurzzeitig eingenommen wird. Diese Verweilzeit wird durch die Größe des Koppelkondensators C und eines Widerstandes R bestimmt. Für die Verweilzeiten von 1,00 s und 0,10 s werden große Kondensatoren benötigt, die sich nur als Elektrolytkondensatoren realisieren lassen. Die Kapazität von Elektrolytkondensatoren ändert sich aber im Laufe der Zeit, so daß sich ein Nacheichen dieser Zeitbasen erforderlich macht. Die Genauigkeit ist für Überschlagsmessungen ausreichend.

Für den Betrieb des Digitalzählers POLYDIGIT 1 sind vier verschiedene Gleichspannungen erforderlich, nämlich 240 V, 66 V, 12 V und —4 V. Diese Spannungen werden durch den Netztransformator und die beiden Netzteilbausteine N 1/1 und N 1/2 bereitgestellt.

Die Spannung von 240 V wird durch eine Einweg-Gleichrichtung aus der Wechselspannung gewonnen und durch einen Ladekondensator geglättet. Mit einer Stabilisierungsschaltung, bestehend aus drei in Reihe geschalteter Z-Dioden, wird aus dieser Spannung auch die Spannung von 66 V für die Transistoren der Anzeigeverstärker abgeleitet.

Die Spannungen von 12 V und —4 V werden nach einer Zweiweg-Gleichrichtung und Glättung durch Transistorenschaltungen stabilisiert. Werden diese Spannungen für den Betrieb von Zusatzgeräten (z. B. Photodioden) an den Buchsen (1) oder (2), Kontakt 2 bzw. 5, entnommen, so muß man Kurzschlüsse und Überlastungen vermeiden, da solche zur Zerstörung der Regeltransistoren führen.

2.3 Bedienung des Gerätes

Nachdem nun der Schaltungsaufbau besprochen wurde, kann die Bedienung des Gerätes erklärt werden. Spezielle Hinweise werden noch zusätzlich bei den Versuchen der Abschnitte 3.1 bis 3.5 gegeben.

Das Gerät ist so konstruiert, daß man mit einem Minimum an Bedienungselementen auskommt, diese leicht zugänglich sind und eine sichere Handhabung ermöglichen. Trotz des Strebens nach Einfachheit ist eine gewisse Anzahl von Bedienungselementen erforderlich, die beim ersten Bekanntmachen nicht gleich überschaubar sind. Deshalb sollte sich jeder Lehrer ins Gedächtnis rufen, daß Fertigkeiten (besonders manuelle, wie sie beim Experimentieren gebraucht werden) sich bei der intensiven Beschäftigung mit dem Gerät herausbilden und häufiges Üben zur sicheren Handhabung notwendig ist.

Bevor das Gerät an das Stromversorgungsnetz angeschlossen wird, muß man sich unbedingt am kombinierten Sicherungs- und Spannungswahlelement von der richtig eingestellten Netzspannung und der ordnungsgemäßen Absicherung überzeugen. Vom Hersteller werden alle Geräte auf "220 V" eingestellt und mit 0,2 A, träge abgesichert! Das Gerät ist nur für Wechselspannung 50 Hz geeignet! Bei der Aufbewahrung achte man darauf, daß das Gerät keinen extremen Temperaturen ausgesetzt ist, also das Abstellen über oder in der Nähe von Heizkörpern, in frostigen Räumen u. ä. muß vermieden werden. Bei der Inbetriebnahme darf das Gerät keine große Temperaturdifferenz zum Arbeitsraum haben, andererseits bilden sich Feuchtigkeitsfilme, die Kriechströme ermöglichen und Beschädigungen zur Folge haben. Grundsätzlich darf man das Gerät nicht erst unmittelbar vor der Messung oder Zählung einschalten und bei Wartezeiten aus- und einschalten. Verfährt man so, kann sich im Inneren keine stabile Arbeitstemperatur einstellen. Der Digitalzähler POLYDIGIT 1 (wie auch jedes andere elektronische Gerät) arbeitet also zuverlässig, wenn er etwa 5 bis 10 Minuten vor Versuchsbeginn eingeschaltet wird und bis zum Ende der Versuche in Betrieb bleibt.

Die sechs Tasten auf der Oberseite des Gerätes (Bild 2,7) kann man neben der Netztaste EIN in zwei Gruppen einteilen:

1. Gruppe — Funktionstasten zum Einschalten und Beenden einer bestimmten Funktion (MESSEN, NULL).

2. Gruppe — Programmtasten zur Wahl eines internen Programms (1,0 s, 0,1 s, 100 Hz).

MESSEN	1,0s	0,1s	100 Hz	NULL	EIN

Bild 2.7 Tastenfeld des Digitalzählers POLYDIGIT 1

Das Gerät wird in Betrieb genommen durch Drücken der Taste EIN, gleichzeitig erfolgt dabei die Nullstellung der Anzeige. Während des Betriebes wird die Nullstellung durch die Taste NULL erreicht.

Alle Messungen und Zählungen werden bei Handauslösung durch die Funktionstaste MESSEN gestartet, zum Beispiel Messungen mit dem Torzeitschalter, Frequenzmessungen, Impulszählungen. Für Zeitmessungen mit einem maximalen

relativen Fehler von ± 2 % ist eine netzsynchrone Frequenz[1]) von 100 Hz im POLYDIGIT 1 vorgesehen, die durch die so gekennzeichnete Taste eingeschaltet werden kann.

Wird ein externer Zeitmarkengenerator eingesetzt, so darf die Taste "100 Hz" nicht gedrückt werden.

Wie bereits ausgeführt wurde, stehen für orientierende Messungen zwei interne Zeitbasen zur Verfügung. Bevor die eigentliche Messung zum Beispiel einer Frequenz beginnen kann, muß die gewählte Zeitbasis erst geeicht werden. Neben der Taste 1,0 s oder 0,1 s wird jetzt noch die 100 Hz-Taste betätigt und dann wie bei jeder Messung zügig die Taste MESSEN. Ist die Periode beendet, wird diese Taste sofort wieder gelöst; die Anzeige gibt die Zeitdauer an, während der das Tor geöffnet war und Impulse zum Zähler gelangen konnten.

Nach der Rückstellung wird diese Überprüfung noch zwei- oder dreimal wiederholt. Tritt dann immer noch eine Abweichung auf, werden die Potentiometerwellen (4) oder (5) um kleine Winkel gedreht, bis keine Abweichung von 1,00 s bzw. 0,10 s mehr auftritt. Sodann wird die 100 Hz-Taste gelöst und die Frequenzmessung kann durchgeführt werden. Der relative Fehler von Freqenzmessungen liegt bei 0,5 . . . 1,0 %.

Aus methodischen Gründen ist es bei vielen Größen wünschenswert, wenn das Komma des Betrages und die Einheit mit angezeigt werden. Mit dem Schalter (6) an der Rückwand kann das Komma an jede beliebige Stelle der Anzeige gerückt und auch ausgeschaltet werden. Die betreffende Einheit kann unter den mitgelieferten Schildern ausgesucht werden. Soll die Einheit nicht angezeigt werden, wird der Blindschieber eingesetzt. Auf dem zweiten Blindschieber kann eine andere benötigte Einheit in die schwarze Farbschicht eingekratzt werden.

Zum Abschluß dieses Abschnittes werden noch wichtige Hinweise zum Betrieb des Zählers gegeben, die vom Röhrenhersteller gefordert werden: Bei aperiodischem Betrieb des Zählers, wie er bei häufigen Kurzzeitmessungen, kleinen Zählraten u. ä. auftritt, muß ein Schaltzeit-Verhältnis für die Anzeigeröhren von 1 : 500 innerhalb von 50 Betriebsstunden gewährleistet sein, da sonst das Katodenmaterial zerstäubt und sich u. a. auf dem Glaskolben absetzt, so daß dieser nach und nach getrübt wird.

Die Anzeigeröhren sind vor Erschütterungen durch Druck, Stoß, Schlag usw. zu schützen, Temperaturdifferenzen am Röhrenkolben führen zu Spannungen im Glas und müssen vermieden werden.

2.4 Eingänge

Für den Anschluß des Zubehörs und peripherer Geräte sind an der Rückseite des Digitalzählers POLYDIGIT 1 drei Buchsen vorgesehen. Die Buchsen (1) und (2) sind bis auf den Zählereingang in gleicher Weise beschaltet (siehe Bild 2.5). Das Bild 2.8 gibt die Beschaltung der Buchsen an, wenn man von hinten auf das Gerät schaut.

1) Der Fehler der Netzfrequenz wird von der Energieversorgung für den ungünstigsten Fall mit ± 1 Hz angegeben, die gemessenen Abweichungen lagen aber höchstens bei ± 0,5 Hz!

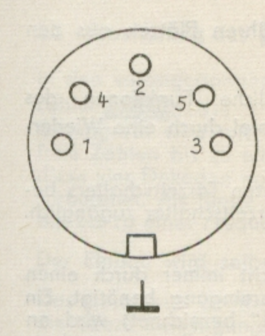


Bild 2.8

Belegung der Buchsen (1) und (2), von außen auf die Kontakte gesehen
1 Eingang, bei (1) kapazitiv, bei (2) direkt, 2 Gleichspannung +12 V gegen Masse, 3 Rückstellung, 4 Torsteuerung, 5 Gleichspannung —4 V gegen Masse

Je nach der Meßaufgabe wird einer der beiden Eingänge benutzt, während zum Beispiel für die Torsteuerung die andere Buchse verfügbar ist.

Die Spannungen von +12 V und – 4 V gegen Masse wurden an diese Buchsen gelegt, um die Arbeitsspannung von kleinen peripheren Geräten wie Schaltstufen, AD-Wandler usw. vom Digitalzähler zu entnehmen und die Versorgung des Zubehörs, z. B. verschiedene Geber, zu ermöglichen.

Werden diese Spannungen abgegriffen, so darf der maximale Strom nicht überschritten werden. Ist der Zähler mit vier Dekaden (vier Zähler Z1) ausgestattet, so darf die Spannung von +12 V noch maximal mit 150 mA belastet werden, die Spannung von —4 V mit 20 mA. Beim fünfstelligen Zähler (vier Z1 und ein Z2) verringern sich diese Ströme auf 80 mA bzw. 5 mA.

Durch Überlastung werden die Regeltransistoren zerstört!

Durch einen Kontakt ist die Rückstellung des Zählers und der Anzeige von außen zugänglich .Es besteht so die Möglichkeit der Fernbedienung des Gerätes über eine der beiden Buchsen. Das Bild 2.9 gibt die Schaltung für eine Fernbedienung an.

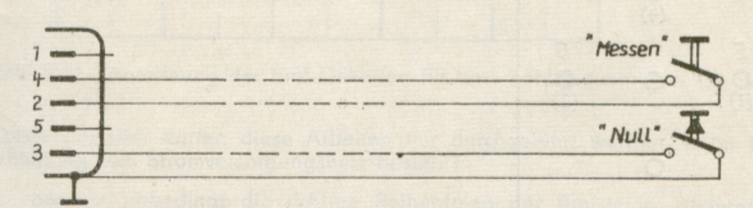


Bild 2.9 Schaltung einer Fernbedienung für den Digitalzähler POLYDIGIT 1

Die beiden Schalter (für MESSEN z. B. einen Schalter für Tischlampen und für NULL einen Klingeltaster o. ä. verwenden!) werden in einem handlichen Gehäuse untergebracht, die Verbindung zum Gerät wird durch vier Adern flexibler Litze hergestellt, die in einen Isolierschlauch gezogen werden. Zwei Meter Leitung sind ausreichend. Als Stecker wird ein fünfpoliger Diodenstecker verwendet, wie er bei Rundfunk- und Tonbandgeräten üblich ist.

Durch diese Fernbedienung können auch Schüler von ihren Plätzen aus den Digitalzähler POLYDIGIT 1 steuern.

Werden Zusatzgeräte verwendet, so können sämtliche Funktionen des POLYDIGIT 1 von diesem gesteuert werden (zum Beispiel durch eine Wiederholautomatik eines AD-Umsetzers).

Die Buchse (3) ist nur für den Anschluß des mitgelieferten Torzeitschalters bestimmt. Die Anschlüsse dieser Buchse sind durch den Torzeitschalter zugänglich. Bild 3.32 zeigt die Schaltung.

Der Anschluß des Zählers an das Meßobjekt wird nicht immer durch einen Diodenstecker möglich sein. Häufig wird nur der Zählereingang benötigt. Ein Stück abgeschirmte Leitung (auch als „Mikrophonkabel" bezeichnet) wird an einem Ende mit einem Diodenstecker und am anderen mit zwei Bananensteckern versehen, die Abschirmung wird an Masse gelegt und der „heiße Draht" an den Anschluß 1.

Sollen alle Anschlüsse der Diodenbuchsen mit Laborsteckern zugänglich sein, so empfiehlt sich die Anfertigung eines Adapters. Dazu eignet sich ein dreibuchsiges Steckbrett aus dem SEG ELEKTRIK. Die Abdeckplatte wird abgehoben, die zusammengelöteten Steckbuchsen werden getrennt und zwei Bänder schneidet man mit einem Seitenschneider durch. Anschließend werden die Verbindungen zwischen dem Diodenstecker und den Buchsen des Steckbrettes nach Bild 2.10 mit Litze hergestellt. Für den Eingang wird möglichst abgeschirmte Leitung verwendet. Vor dem Anlöten sollte man alle Litzen durch ein Stück Isolierschlauch ziehen.

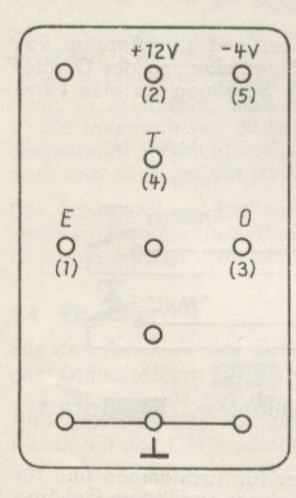


Bild 2.10
Empfohlene Belegung eines Adapters für die Buchsen (1) und (2)

2.5 Erweiterung des POLYDIGIT 1

In den vorangegangenen Abschnitten wurde schon erwähnt, daß beim Digitalzähler POLYDIGIT 1 eine Erweiterung auf fünf Dekaden möglich ist. Das Grundgerät wird mit vier Dekaden A2V/Z1 geliefert und gestattet das fehlerfreie Zählen bis zu einer Impulsfrequenz von 150 kHz. Da bei hohen Zählraten diese vier Dekaden noch nicht ausreichen, ist das Gerät für eine weitere Dekade vorbereitet. Als fünfte Dekade kann die Kombination A2V/Z2 eingesetzt werden, die bis zu einer Frequenz von 1,5 MHz arbeitet.

Der Einbau wird selbständig durchgeführt und soll hier erläutert werden:

Das Gerät wird geöffnet (s. Abschnitt 2.1) und das Frontblech entfernt. Nun wird die obere Befestigungsschraube der ersten Dekade gelöst (Einerstelle) und der Baustein kann herausgezogen werden. Dieser Baustein wird auf den freien Platz gesetzt (Zehntausenderstelle), während die Dekade A2V/Z2 auf die freigewordene Einerstelle gesetzt wird (Bild 2.11). Beide Bausteine werden an der oberen Leiste angeschraubt, unter dem Fenster entfernt man die Abdeckung und das Gehäuse wird verschlossen. Damit ist die Erweiterung durchgeführt und das Gerät kann in Betrieb genommen werden.

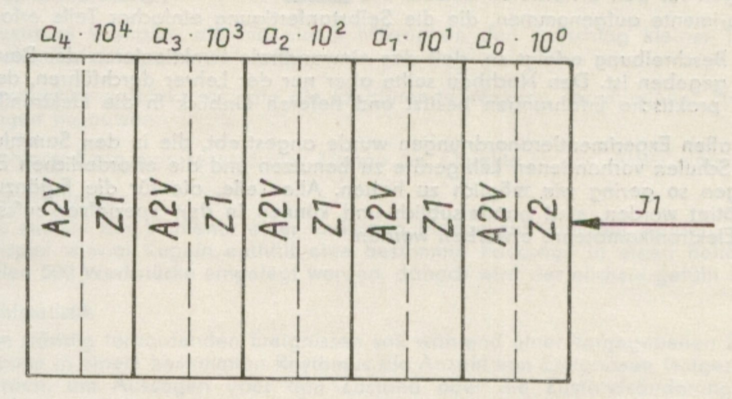


Bild 2.11 Anordnung der fünf Dekaden für eine Zählfrequenz von 1,5 MHz

Selbtsverständlich dürfen diese Arbeiten nur durchgeführt werden, wenn keine Verbindung zum Stromversorgungsnetz besteht!

Man beachte unbedingt die richtige Reihenfolge der Bausteine, anderenfalls wird die Zählfrequenz von 1,5 MHz nicht erreicht.

3. EXPERIMENTE MIT DEM POLYDIGIT 1

Die folgenden Experimente sollen dem Lehrer eine Anleitung sein, die es ihm gestatten, das Gerät POLYDIGIT 1 wirkungsvoll und richtig einzusetzen. Die Einteilung der Experimente erfolgt in fünf Gruppen, wobei die Zuordnung nach dem jeweiligen Zähl- oder Meßprinzip vorgenommen wird. Dadurch ist es möglich, zu Beginn des jeweiligen Teilabschnittes die prinzipielle Zähl- oder Meßanordnung zu beschreiben und spezielle Hinweise zu geben.

Es wird nicht angestrebt, Vollständigkeit an Umfang und Tiefe zu erreichen. Vielmehr kommt es darauf an, das Typische herauszustellen. Dem Lehrer bleibt so noch genügend Raum zur eigenen schöpferischen Anwendung und Weiterentwicklung und zum Aufspüren anderer Einsatzgebiete für den POLYDIGIT 1.

Die digitale Technik wird seit vielen Jahren im Produktionsprozeß, im Laborbetrieb, für Überwachungsaufgaben usw. eingesetzt, jedoch erstmalig für den Experimentalunterricht der Oberschulen. Der Erfahrungsbereich ist aus dem Grunde noch klein, auch die industrielle Fertigung des erforderlichen Ergänzungszubehörs ist noch nicht angelaufen. Um dem interessierten Lehrer Anregungen für den erweiterten Einsatz des POLYDIGIT 1 zu geben, werden auch Experimente aufgenommen, die die Selbstanfertigung einfacher Teile erfordern.

Die Beschreibung erfolgt so, daß das einwandfreie Funktionieren der Baugruppen gegeben ist. Den Nachbau sollte aber nur der Lehrer durchführen, der bereits praktische Erfahrungen besitzt und tieferen Einblick in die Elektronik hat.

Bei allen Experimentieranordnungen wurde angestrebt, die in den Sammlungen der Schulen vorhandenen Lehrgeräte zu benutzen und die erforderlichen Ergänzungen so gering wie möglich zu halten. Alle Teile, die für die Ergänzungen benötigt werden, sind handelsüblich und können in den Spezialverkaufsstellen für Elektronikamateure erworben werden.

3.1 Zählungen

Das Zählen von irgendwelchen Objekten ist in der Wissenschaft wie in der Technik eine oft auftretende Aufgabe. Für Gegenstände, die in langsamer Folge den Zählort passieren, genügen mechanische oder elektromechanische Zähler. Bei höheren Zählgeschwindigkeiten müssen elektronische Zähler eingesetzt werden.

Für die Ansteuerung der elektronischen Zählgeräte muß jedes Objekt, das zum Zählort gelangt, einen elektrischen Impuls auslösen, der durch einen Wandler erzeugt wird. Je nach Zählobjekt werden verschiedene Wandlerprinzipien benutzt, u. a.

– mechanische Schalter, die einen elektrischen Stromkreis öffnen und schließen;

– Lichtschranken, die mit photoelektrischen Bauelementen (zum Beispiel Photodioden, -zellen) arbeiten;

– magnet-elektrische Wandler, die Induktions- und Selbstinduktionsspannungen erzeugen;

– magnet-elektrische Wandler, die Änderungen des elektrischen Widerstandes durch äußere Magnetfelder ausnutzen (Feldplatten) oder den Hall-Effekt (Hall-Generatoren);

– akustische Wandler, die mit einem Mikrophon den Aufschlag kleiner Teile in elektrische Impulse umformen;

– Kernstrahlungsdetektoren, die die ionisierende Wirkung verschiedener Strahlungen ausnutzen.

Die Zählung kann man je nach der Menge der Objekte in zwei Arten einteilen:

1. Stückzählungen

   Die Anzahl der Elemente einer endlichen Menge soll ermittelt werden, zum Beispiel wieviel Kugeln enthält eine bestimmte Packung? In einen Behälter sollen 500 Werkstücke eingelegt werden, danach wird der nächste gefüllt usw.

2. Zählstatistik

   Von ständig fortlaufenden Ereignissen soll während einer vorgegebenen Zeitspanne in einem bestimmten Rhythmus die Anzahl von Ereignissen festgestellt werden, um Aussagen über den Zustand oder die Zustandsänderung zu machen, zum Beispiel Ermittlung der Zählrate eines Radionuklids.

Die erste Art von Zählungen wird an einigen Beispielen in diesem Abschnitt behandelt, während die zweite Art, speziell zur Kernphysik, im Abschnitt 3.2 dargestellt wird. Man beachte dabei, daß die meisten aufgeführten Versuche Modellcharakter tragen; die Forderungen der Wissenschaft und Technik in bezug auf Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Robustheit sind höher.

Das Blockschaltbild für Stückzählungen gibt Bild 3.1 an. Das Tor braucht hier nicht betätigt zu werden, da mit der Zählung des letzten Elementes der Vorgang abgeschlossen ist.

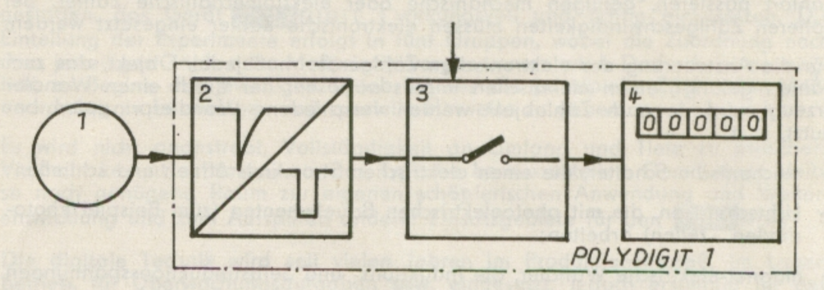


Bild 3.1 Blockschaltbild für Stückzählung
1 Wandler, 2 Impulsformer, 3 Torschaltung,
4 Zähl- und Anzeigeeinheiten

Die Zeitdauer des Zählvorganges ist dabei ohne Bedeutung. Vor einer neuen Zählung erfolgt die Rückstellung des Zählers.

Für Stückzählungen müssen folgende Handlungen (Aktionen) in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden:

A 1 — Zählanordnung bzw. Versuchsanordnung aufbauen;

A 2 — Wandler an einer geeigneten Stelle anbringen und an den Digitalzähler anschließen;

A 3 — POLYDIGIT 1 in Betrieb nehmen;

A 4 — Taste MESSEN drücken und Wandler einrichten;

A 5 — Rückstellung des Zählers vornehmen (Taste NULL);

A 6 — Körper bzw. Zählobjekt den Zählort (Wandler) passieren lassen;

A 7 — wurde das letzte Objekt registriert, kann der Zählerstand abgelesen werden;

A 8 — für weitere Zählungen A 5 — A 7 anwenden.

Weitere Hinweise werden bei den einzelnen Zählanordnungen gegeben.

3.1.1 Zählungen mit mechanischem Schalter

Geräte: POLYDIGIT 1

Kontaktplatte vom mechanischen Torzeitschalter

abgeschirmte Anschlußleitung

Rollbahn

Kugeln von etwa 10 mm Durchmesser

Körper, die in langsamer Folge den Zählort passieren und eine ausreichende Masse haben, können einen mechanischen Schalter betätigen, der dabei einen Stromkreis öffnet. Nach dem Durchgang des Körpers muß der Schalter den Stromkreis wieder selbsttätig schließen.

Der Aufbau der Anordnung erfolgt nach Bild 3.2.

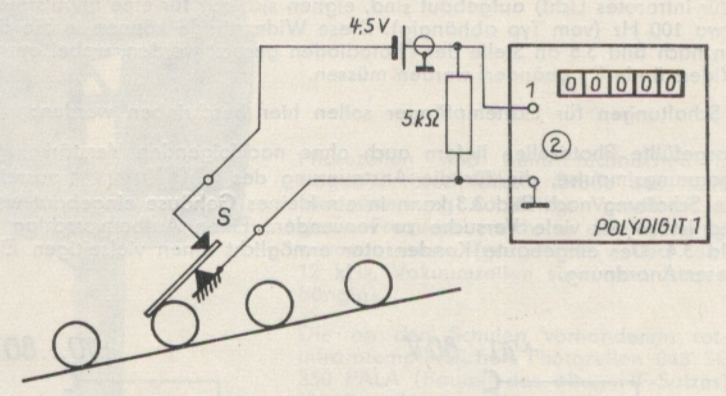


Bild 3.2 Mechanischer Schalter als Wandler

Der Schalter S wird zusätzlich mit einem Kondensator C $\approx$ 0,1 μF überbrückt (im Bild 3.2 nicht eingezeichnet).

Als Schalter ist eine Kontaktplatte von dem mechanischen Torzeitschalter geeignet, die bei einer entsprechenden Neigung nach jedem Anheben in die Ausgangsstellung zurückkehrt. Für verschiedene Zählungen ist auch ein Mikroschalter geeignet. Für die Rollbahn kann ein Stück Winkelmaterial benutzt werden, ebenso das Brett für die geneigte Ebene. Die Bahn wird so eingestellt, daß die Kugeln leicht abrollen und dabei den Schalter öffnen. Werden Metallkugeln gezählt, so können diese selbst als Schalter wirken. Die metallische Rollbahn stellt einen Kontakt dar, ein federnder Draht darüber, den anderen. Beim Durchgang der Kugeln wird der Stromkreis kurzzeitig geschlossen und dabei ein Spannungsimpuls erzeugt. Diese Anordnung läßt sich weiter variieren, so zum Beispiel für das Zählen von Umläufen rotierender Körper.

3.1.2 Zählungen mit photoelektrischen Wandlern

Geräte: POLYDIGIT 1

Lichtempfänger

abgeschirmte Anschlußleitung

Optikleuchte

Bandförderer o. ä.

leere Schachteln, Holzklötzchen o. ä.

Als Lichtempfänger können nur photoelektrische Bauelemente verwendet werden, die bis zu hohen Impulsfrequenzen trägheitslos arbeiten. Diese Eigenschaften haben Photozellen, -dioden und -transistoren. Photoelemente (Selenzellen) sind für diese Zwecke nicht geeignet. Die stromrichtungsunabhängigen Photowiderstände, die aus polykristallinen Halbleiterschichten (CdS für sichtbares, PbS und InSb für infrarotes Licht) aufgebaut sind, eignen sich nur für eine Impulsfrequenz bis etwa 100 Hz (vom Typ abhängig). Diese Widerstände können in die Schaltungen nach Bild 3.5 an Stelle der Photodioden gesetzt werden, wobei eventuell die Widerstände R_v geändert werden müssen.

Zwei Schaltungen für Lichtempfänger sollen hier beschrieben werden:

1. Gasgefüllte Photozellen liefern auch ohne nachfolgenden Verstärker große Spannungsimpulse, die für die Ansteuerung des POLYDIGIT 1 ausreichen. Die Schaltung nach Bild 3.3 kann in ein kleines Gehäuse eingebaut werden und ist so für viele Versuche zu verwenden. Einen Aufbauvorschlag zeigt Bild 3.4. Der eingebaute Kondensator ermöglicht einen vielseitigen Einsatz dieser Anordnung.

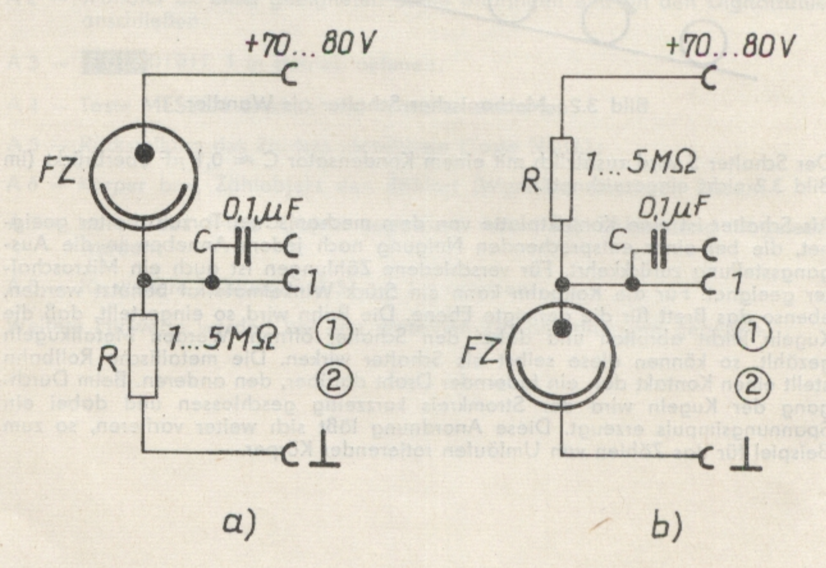


Bild 3.3 Schaltung einer Photozelle,
a) "Hell"-Schaltung, b) "Dunkel"-Schaltung

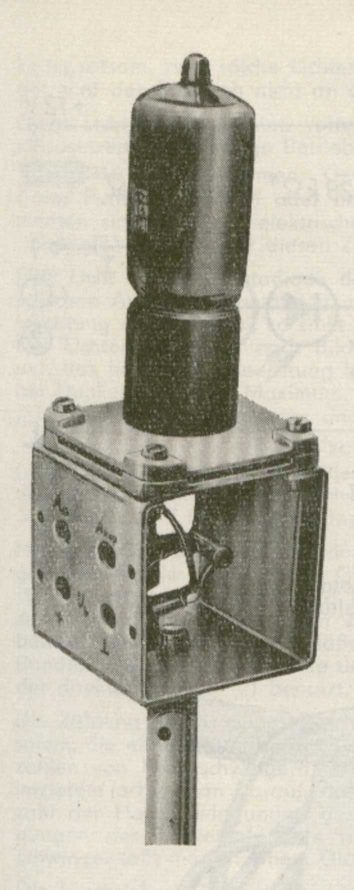


Bild 3.4

Aufbauvorschlag für die Halterung der Photozelle

Photozellen sind beim technischen Einsatz wegen Zerbrechlichkeit, Größe und hoher Betriebsspannung nachteilig. Vorteilhaft ist der große Frequenzbereich, in dem sie eingesetzt werden können (gasgefüllte Zellen von 0 bis 12 kHz, Vakuumzellen sind nicht frequenzabhängig).

Die an den Schulen vorhandenen rot- und infrarotempfindlichen Photozellen 043 SD und 350 PALA (Bauteil des alten HF-Satzes) sind für diese Lichtempfänger geeignet.

2. Photodioden sind stromrichtungsabhängige Widerstände, deren pn-Übergang in Sperrichtung betrieben wird. Der unbeleuchtete pn-Übergang hat einen hohen Widerstand, bei Lichteinfall sinkt er; es besteht in einem großen Bereich strenge Linearität zwischen Beleuchtungsstärke und Photostrom.

   Die Grundschaltung ist die gleiche wie bei der Photozelle, allerdings reicht die Größe der Spannungsimpulse zur sicheren Ansteuerung des Digitalzählers nicht aus. Die erforderliche Verstärkung wird von einem Transistor der Gruppe D oder E (Verstärkungsfaktor 112 ... 280 / 224 ... 560) oder von zwei Transistoren in Darlington-Schaltung der Gruppe B oder C (Verstärkungsfaktor 28 ... 71 / 56 ... 140) erbracht. Die Schaltung nach Bild 3.5 b) kommt mit einem Transistor der Gruppe C aus, da der gesamte Photostrom I_{ph} für die Steuerung des Transistors wirksam wird. Der Lichtempfänger wird nach Bild 3.5 a) oder b) ausgeführt und in einem kleinen flachen Gehäuse untergebracht, das maximal 13 mm hoch ist (Bild 3.6). Die Verbindung zum Digitalzähler wird mit zweiadriger abgeschirmter Leitung und einem Diodenstecker hergestellt (Abschirmung als Minuspol).

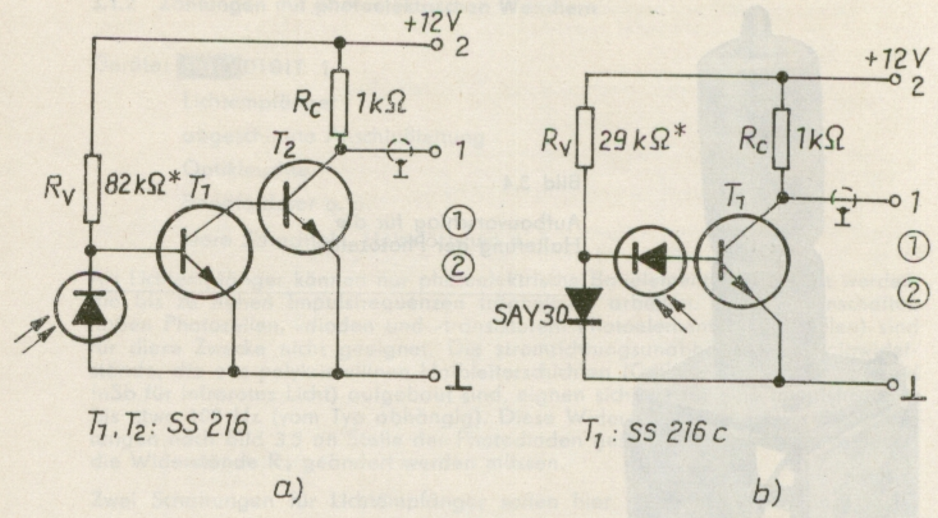


Bild 3.5 Schaltung von Lichtempfängern mit Photodioden,
a) "Hell"-Schaltung, b) "Dunkel"-Schaltung; * Abgleichwert

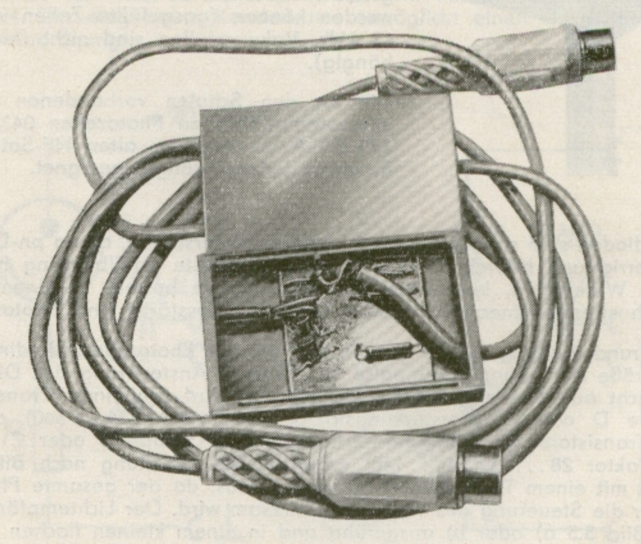


Bild 3.6 Aufbauvorschlag für die Lichtempfänger mit Photodioden

Es ist ratsam, zwei solche Lichtempfänger zu bauen. Beim zweiten Lichtempfänger wird der Ausgang nicht an den Kontakt 1, sondern an 4 (Tor) gelegt.

Diese Lichtempfänger sind vorteilhaft für Impulsfrequenzen von 0 bis 100 kHz einzusetzen; die niedrige Betriebsspannung des Empfängers von 12 V wird dem POLYDIGIT 1 entnommen. Geeignet sind die Photodioden GP 119 ... 122 (roter Punkt ist Anode) oder ähnliche Typen. Wie bei allen Halbleiterbauelementen sind auch die elektrischen Eigenschaften von Photodioden temperaturabhängig, die aber für diesen Zweck eine untergeordnete Bedeutung hat.

Fällt Licht auf die Photodiode des Lichtempfängers 1 nach Bild 3.5 a), so liegt zwischen Ausgang (Kontakt 1) und Masse eine große Spannung, wird die Beleuchtung unterbrochen, so sinkt die Ausgangsspannung auf einen kleinen Wert. Der Lichtempfänger 2 nach Bild 3.5 b) weist ein entgegengesetztes Verhalten auf, das heißt bei Beleuchtung H erreicht die Ausgangsspannung ein Minimum, bei Dunkelheit D ein Maximum. Die Größe der Spannungsänderung $\triangle U_{EC} = \triangle U_A$ zwischen beleuchteter und unbeleuchteter Photodiode errechnet sich zu

$$\triangle U_{EC} = \pm \triangle I_{ph} \cdot R_c \cdot B \qquad (3.1)$$

($\triangle I_{ph} = I_{phH} - I_{phD}$ ... Differenz der Photoströme; R_c ... Arbeitswiderstand der Verstärkerstufe; B ... Stromverstärkung des Transistors bzw. der Darlington-Schaltung; „+" für Lichtempfänger 1; „−" für Lichtempfänger 2.)

Mit einer Optikleuchte und einem Lichtempfänger wird eine Lichtschranke aufgebaut, die alle zu zählenden Gegenstände passieren müssen. Die richtige Einstellung der Lichtschranke wird in einem Vorversuch ermittelt. Der Zähler muß sicher ansprechen, wenn man zum Beispiel die gespreizten Finger durch sie bewegt. Für das Experiment läßt man kleine Schachteln oder Klötze auf einem Bandförderer die Lichtschranke unterbrechen. Bei kleinen Geschwindigkeiten wird der direkte Eingang (2) benutzt, bei größeren der kapazitive Eingang (1).

Die Zählung mittels photoelektrischen Wandlers kann für die Zählung von Personen, die einen Raum betreten oder verlassen, die Ermittlung der Schwingungszahlen von Federschwingern oder Fadenpendeln u. a. eingesetzt werden. Bei letzterem achte man darauf, daß jedes Passieren registriert wird, also die Anzahl der Halbschwingungen gezählt wird. Fadenpendel sollten, um Beschädigungen des Lichtempfängers zu vermeiden, bifilar befestigt werden, Federschwinger läßt man in einem Glasrohr schwingen.

Die beschriebene Lichtschranke wird noch bei weiteren Versuchen benötigt. Alle Versuche können als Anwendungsbeispiel für photoelektrische Bauelemente eingesetzt werden.

3.1.3 Modellversuch zur digitalen Längenmessung

Geräte: POLYDIGIT 1

Lichtempfänger 2

Optikleuchte

Papierstreifen mit schwarzen und weißen Feldern

Mit dem Lichtempfänger 2 ⟨Bild 3.5 b)⟩ und einer starken Optikleuchte wird eine Lichtschranke nach Bild 3.7 aufgebaut. Die Justierung erfolgt mit einem Blatt weißen Papier, welches man durch die Lichtschranke zieht. Dabei muß jedesmal ein Impuls registriert werden.

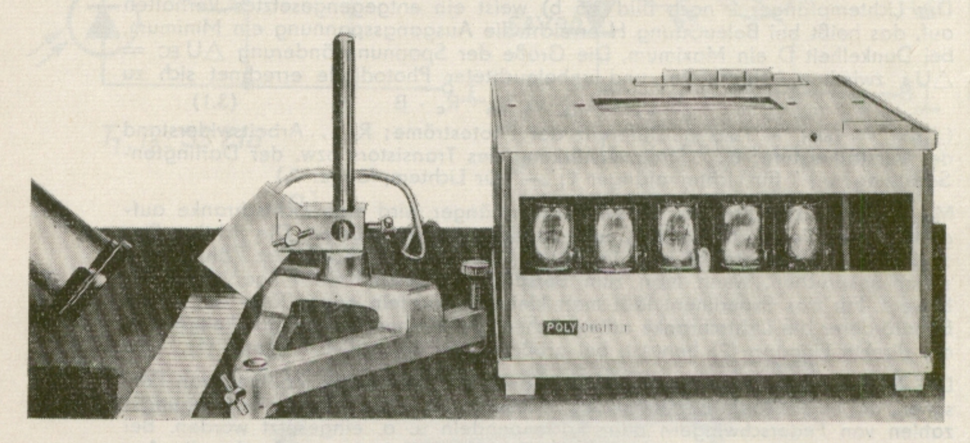


Bild 3.7 Versuchsanordnung zur digitalen Längenmessung

Zum eigentlichen Versuch verwendet man einen Papierstreifen, den man in Abständen von 1 cm mit schwarzen Strichen (etwa 2 mm breit) versehen hat. Dieser Streifen wird durch die Lichtschranke gezogen. Der Zähler zeigt die Länge in Zentimetern an. Vor einer Richtungsänderung muß der Zähler erst auf "00000" gestellt werden. Für die technische Anwendung (zum Beispiel digitale Anzeige der Einstellung an Werkzeugmaschinen) stehen Vorwärts-Rückwärts-Zähler zur Verfügung.

3.1.4 Induktive Wandler

Geräte: POLYDIGIT 1
Induktionsspule
abgeschirmte Leitung

Induktive Wandler werden für berührungslose Zählungen in der Technik mannigfaltig angewendet, vor allem bei höheren Zählfrequenzen:

Wird der magnetische Fluß Φ in einer Spule geändert, so ist die Folge eine Induktionsspannung

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.2)$$

Bei allen induktiven Wandlern wird das Induktionsgesetz ausgenutzt. Einige einfache Beispiele sollen hier kurz als Modellversuch dargestellt werden.

Bild 3.8 zeigt eine Anordnung mit einer festen Spule mit Eisenkern, vor der eine Scheibe rotiert. An dieser Scheibe ist ein kleiner Manipermmagnet angeklebt.

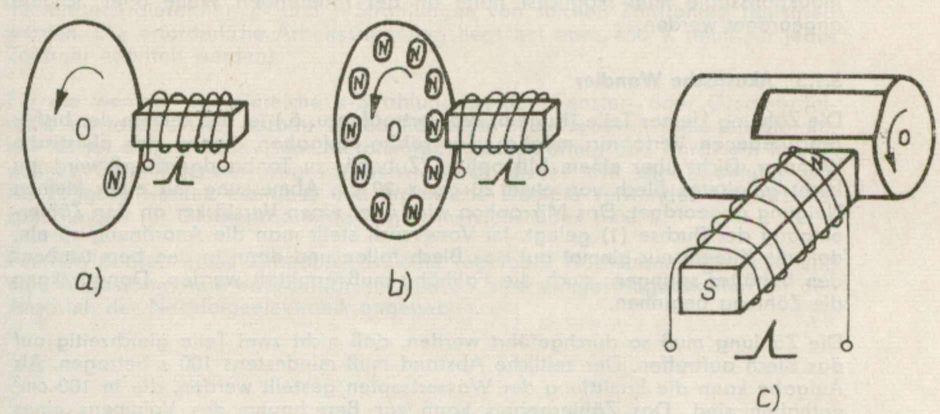


Bild 3.8 Prinzipieller Aufbau von induktiven Wandlern

Bei jeder Umdrehung wird in der Spule ein Spannungsimpuls erzeugt. Dieser wird verstärkt und gelangt schließlich zum Zähler. Bei höheren Drehzahlen empfiehlt es sich, zwei Magnete (oder besser zehn nach Bild 3.8 b) — Komma verrücken, d. h. Division durch zehn) zu verwenden, die gleichmäßig auf einem Radius angeordnet werden. Um einen sicheren Halt zu gewährleisten, wird die Scheibe mit Löchern versehen, in die die Manipermmagnete eingepreßt werden.

Die Anordnung nach Bild 3.8 c) benutzt eine Spule mit einem kräftigen Dauermagnet als Kern.

Die Welle (nur Eisen oder Stahl) hat eine Abflachung oder ein Loch. Der Magnet steht ganz dicht an der Welle, so daß der magnetische Fluß Φ in sie eintritt. Dreht sich die Welle weiter, so wird der Kraftfluß an der Abflachung geringer und in der Spule wird eine Spannung induziert. Auch diese Spannung muß verstärkt werden. Als Verstärker ist die Schaltung nach Bild 3.5 a) geeignet, wobei die Photodiode durch die Induktionsspule ersetzt wird. Als Induktionsspule mit

Magnetkern kann ein System eines Kopfhörers ohne Membrane benutzt werden. Kleine 12 V-Motoren, wie sie für mechanische Spielzeuge verwendet werden, eignen sich auch als induktive Geber. Die Anzeige muß durch die Anzahl der Rotor-Polpaare dividiert werden (Petrich-Motoren haben sieben Polpaare). Bei allen induktiven Gebern ist nachteilig, daß die Größe der Induktionsspannung abhängig ist von der zeitlichen Änderung des magnetischen Kraftflusses — Gleichung (3.2). Für langsame Änderungen erhält man also kleine Spannungsimpulse, die eine große Verstärkung erfordern.

Feldplatten weisen diesen Nachteil nicht auf, da der Widerstand nur von der magnetischen Induktion B abhängt, haben also ein ähnliches elektrisches Verhalten wie Photodioden.

Als Beispiel für die Anwendung eines induktiven Gebers kann die Zählung von Umläufen eines Motors gewählt werden, der kurzzeitig eingeschaltet wird. Die Induktionsspule muß möglichst nahe an der rotierenden Welle oder Scheibe angeordnet werden.

3.1.5 Akustische Wandler

Die Zählung kleiner Teile (Kugeln, Wassertropfen u. ä.) ist mit keinem der bisher beschriebenen Verfahren möglich. Für solche Aufgaben eignen sich akustische Wandler. Dicht über einem Mikrophon (Zubehör zu Tonbandgeräten!) wird ein leicht gefaltetes Blech von etwa 20 cm x 20 cm Abmessung mit einer kleinen Neigung angeordnet. Das Mikrophon wird über einen Verstärker an den Zählereingang der Buchse (1) gelegt. Im Vorversuch stellt man die Anordnung so ein, daß die Kugeln nur einmal auf das Blech fallen und dann in den bereitstehenden Behälter springen; auch die Fallhöhe muß ermittelt werden. Danach kann die Zählung beginnen.

Die Zählung muß so durchgeführt werden, daß nicht zwei Teile gleichzeitig auf das Blech auftreffen. Der zeitliche Abstand muß mindestens 100 s betragen. Als Aufgabe kann die Ermittlung der Wassertropfen gestellt werden, die in 100 cm^3 enthalten sind. Das Zählergebnis kann zur Berechnung des Volumens eines Tropfens genommen werden. Ähnlich kann die Masse kleiner Stahl-, Blei- oder Glaskugeln bestimmt werden.

3.2 Experimente zur Kernphysik

Die Kernphysik bietet vielfältige Möglichkeiten für einen interessanten, praxisnahen Physikunterricht. Jeder Lehrer hat aber schon die Erfahrung gemacht, daß ohne Experimente die physikalischen Erscheinungen den Schülern schwer zugänglich sind und das anfängliche Interesse bald nachläßt. Mit dem Digitalzähler POLYDIGIT 1 ist es möglich, mit verschiedenen Kernstrahlungsdetektoren grundlegende Experimente überzeugend und sicher im Unterricht durchzuführen. Das Halogenzählrohr wird meistens als Wandler für die Kernstrahlung eingesetzt; Spitzenzähler, Halbleiterdetektoren und Zähltransistoren sind in den Schulen wenig verbreitet. Das Halogenzählrohr besteht aus einem länglichen, dünnwandigen Glasgefäß, das mit Halogendämpfen und einem Edelgas gefüllt ist. Die Anode ist ein langer Draht, der axial in die Röhre ragt. Die Katode ist als Drahtwendel (oder Graphitschicht) an die Innenwand der Glasröhre gelegt. Die Wirkungsweise der Halogenzählröhre wird im Abschnitt 3.2.1 untersucht und beschrieben.

Halogenzählrohre werden in verschiedenen Formen gefertigt, neben der genannten Ausführung (mit schwarzem Licht-Schutzlack nur für feste und gasförmige Radionuklide geeignet) auch als Eintauch-, Becher- und Durchfluß-Zählrohr (für flüssige Radionuklide, letztere auch für Gase). Wegen der Glaswandung können nur die energiereichen β- und γ-Strahlungen von solchen Zählrohren registriert werden. Die erforderliche Arbeitsspannung liegt bei etwa 450 V (muß für jedes Zählrohr ermittelt werden).

Für die weniger energiereiche α-Strahlung werden Fenster- oder Glockenzählrohre eingesetzt. Der Aufbau ist ähnlich dem beschriebenen Halogenzählrohr, nur ist der äußere Glas- oder Metallkörper glockenförmig und durch ein hauchdünnes Glimmerfenster abgeschlossen; durch dieses tritt die Strahlung ein. Als Füllgase werden Edelgase und organische Dämpfe verwendet. Die Arbeitsspannungen für Glockenzählrohre liegen meistens über 1000 V.

Für den Betrieb eines Zählrohres ist eine regelbare Hochspannungsquelle und eine Anpassungsstufe erforderlich. Im Bild 3.9 sind einige Möglichkeiten für den Anschluß der Nachfolgeelektronik angegeben.

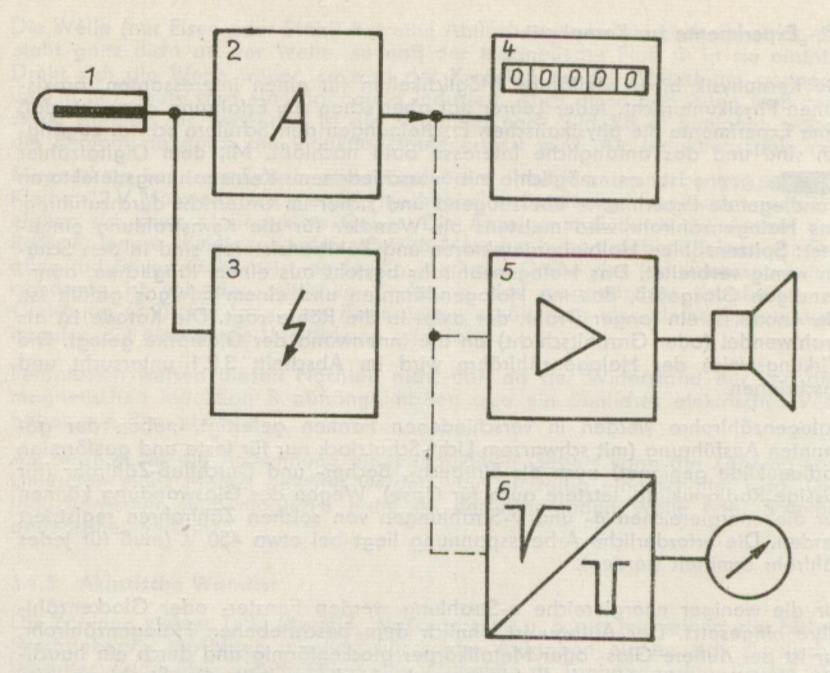


Bild 3.9 Blockschaltbild für Zählrohranordnungen mit verschiedenen Anzeigeeinrichtungen
1 Halogenzählrohr, 2 Anpassungsstufe, 3 Spannungsquelle, 4 Digitalzähler, 5 Verstärker mit Lautsprecher, 6 Impulsdichtemesser

Für die Halogenzählrohre VA-Z-116 und VA-Z-118 eignet sich das Stromversorgungsgerät für Mittelspannungen SV 59/52-3, da es mit einer zusätzlichen Feinregelung ausgerüstet ist. Die Anpassungsstufe nach Bild 3.10 wird in ein kleines Gehäuse aus Alublech eingebaut, in dem auch die Zählrohrfassung und zwei Buchsen (evtl. auch abgeschirmtes Kabel direkt anlöten und mit Diodenstecker versehen) vorgesehen sind. Der Koppelkondensator muß mindestens die Spannungsfestigkeit der höchsten Betriebsspannung haben. Der Anschluß an das Stromversorgungsgerät kann mit zwei Steckerstiften oder Laschen erfolgen, wie es im Bild 3.11 zu sehen ist.

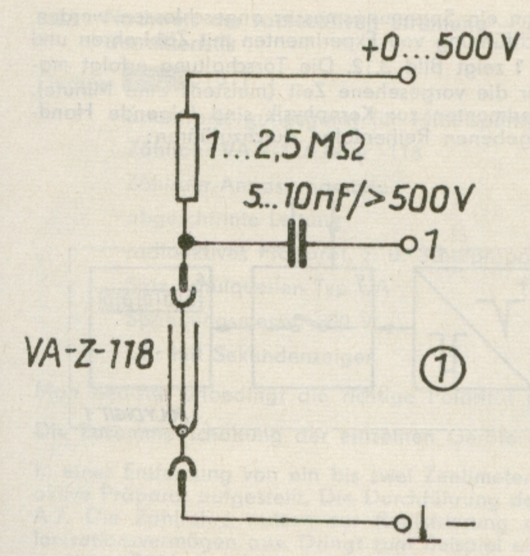


Bild 3.10 Einfache Zählrohranpassungsstufe

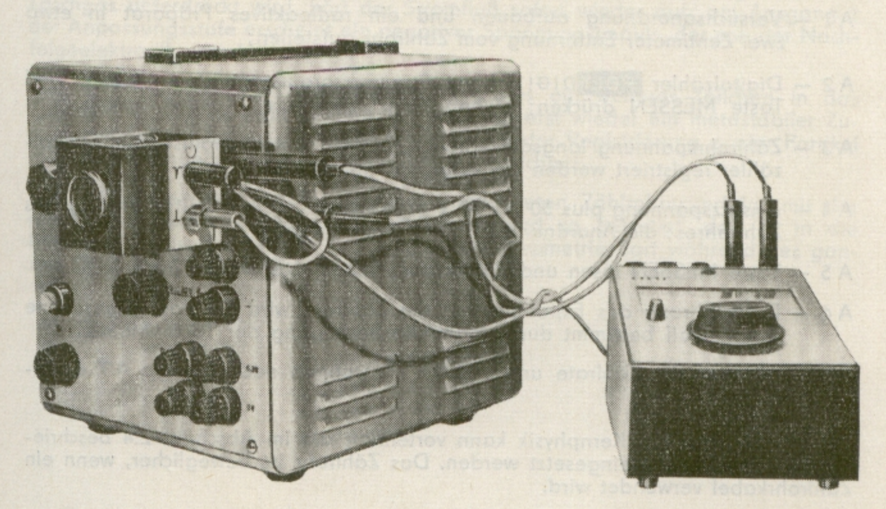


Bild 3.11 Aufbauvorschlag für eine Zählrohranpassungsstufe

An den freien Meßklemmen kann ein Spannungsmesser angeschlossen werden. Das Blockschaltbild für die Durchführung von Experimenten mit Zählrohren und dem Digitalzähler POLYDIGIT 1 zeigt Bild 3.12. Die Torschaltung erfolgt manuell mit der Taste MESSEN für die vorgesehene Zeit (meistens eine Minute). Bei der Durchführung von Experimenten zur Kernphysik sind folgende Handlungen (Aktionen) in der angegebenen Reihenfolge durchzuführen:

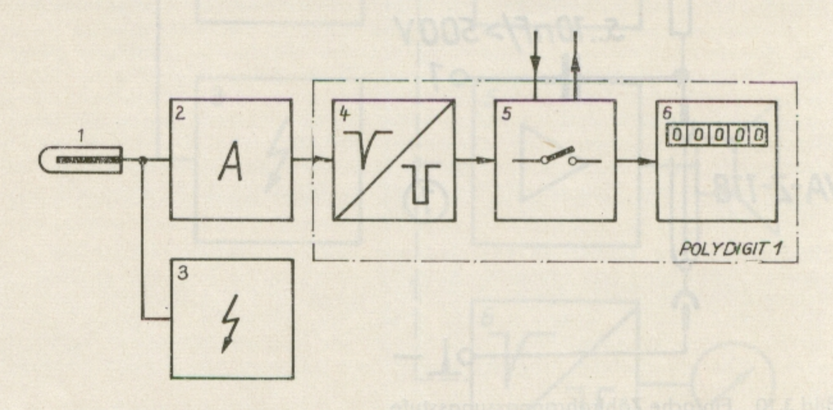


Bild 3.12 Blockschaltbild für Zählrohranordnungen mit dem POLYDIGIT 1
1 Halogenzählrohr, 2 Anpassungsstufe, 3 Spannungsquelle, 4 Impulsformer, 5 Torschaltung, 6 Zähl- und Anzeigeeinheiten

A 1 — Versuchsanordnung aufbauen und ein radioaktives Präparat in etwa zwei Zentimeter Entfernung vom Zählrohr aufstellen;

A 2 — Digitalzähler POLYDIGIT 1 und Stromversorgungsgerät einschalten und Taste MESSEN drücken; Einheit "Imp" einsetzen; Komma ausschalten;

A 3 — Zählrohrspannung langsam erhöhen, bis die ersten Impulse vom Digitalzähler registriert werden (Einsatzspannung ist erreicht);

A 4 — Einsatzspannung plus 50 bis 80 V ergeben etwa die Arbeitsspannung des Zählrohres; die Anordnung ist damit betriebsbereit;

A 5 — Taste MESSEN lösen und Zähler auf "00000" stellen mit Taste NULL;

A 6 — Durchführung des Experimentes; die Zählrate wird für das vorgesehene Zeitintervall bestimmt durch manuelle Betätigung der Taste MESSEN;

A 7 — Ablesen der Zählrate und weitere Messungen nach A 5 bis A 7 durchführen.

Für die Versuche zur Kernphysik kann vorteilhaft die im Abschnitt 2.4 beschriebene Fernbedienung eingesetzt werden. Das Zählrohr ist beweglicher, wenn ein Zählrohrkabel verwendet wird.

3.2.1 Nachweis der radioaktiven Strahlung — Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

Geräte: POLYDIGIT 1

Stromversorgungsgerät für Mittelspannungen SV 59/52-3 o. ä.

Zählrohr VA-Z-116 oder -118

Zählrohr-Anpassungsstufe

abgeschirmte Leitung

radioaktives Präparat, z. B. Schulpräparat RaD oder

Satz Schulquellen Typ UA

Spannungsmesser 500 V

Uhr mit Sekundenzeiger

Man beachte unbedingt die richtige Polarität der Anpassungsstufe!

Die Zusammenschaltung der einzelnen Geräte erfolgt nach Bild 3.12.

In einer Entfernung von ein bis zwei Zentimetern vom Zählrohr wird das radioaktive Präparat aufgestellt. Die Durchführung des Versuches erfolgt nach A 2 bis A 7. Die Zählrohre nutzen zur Registrierung der radioaktiven Strahlung das Ionisationsvermögen aus. Dringt zum Beispiel ein β-Teilchen in das aktive Volumen des Zählrohres ein, so werden viele Moleküle des Füllgases beim Zusammentreffen mit ihm ionisiert und es kann ein Strom zwischen Anode und Katode fließen. Während vorher das Zählrohr hochohmig war, wird durch den Stromfluß sein Widerstand sinken. Da nach dem Durchgang des Teilchens keine Ladungsträger mehr erzeugt werden, und die weitere selbständige Entladung durch das Löschgas unterdrückt wird, hört der Stromfluß sofort wieder auf; am Ausgang 1 der Anpassungsstufe erscheint ein negativer Spannungsimpuls, der von der Nachfolgeelektronik verarbeitet wird.

Gelangt während des beschriebenen Vorgangs ein weiteres Teilchen in das Zählrohr, so wird es nicht gezählt; es muß sich erst wieder ein metastabiler Zustand eingestellt haben. Die Zeit, die zwischen der Registrierung zweier Partikel mindestens vergehen muß, wird als Totzeit bezeichnet.

Die Aufnahme der Charakteristik des verwendeten Zählrohres erfolgt mit der gleichen Versuchsanordnung. Das Präparat wird so befestigt, daß es in die Mitte des Zählrohres strahlt. Die eingestellte Geometrie darf während des ganzen Versuches nicht verändert werden (Bild 3.13).

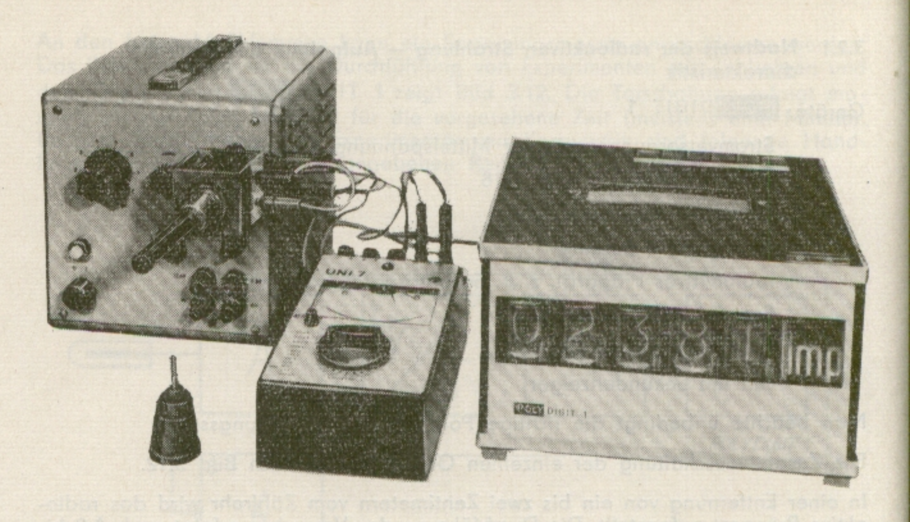


Bild 3.13 Versuchsanordnung zur Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

Unterhalb der Einsatzspannung beginnend wird sodann die Impulsrate während 60 Sekunden bestimmt und dieses für jede andere Spannung in Schritten von 25 V wiederholt.

Anschließend werden die ermittelten Zählraten in Abhängigkeit von der zugehörigen Spannung auf Millimeterpapier übertragen (Bild 3.14) und durch einen Kurvenzug miteinander verbunden.

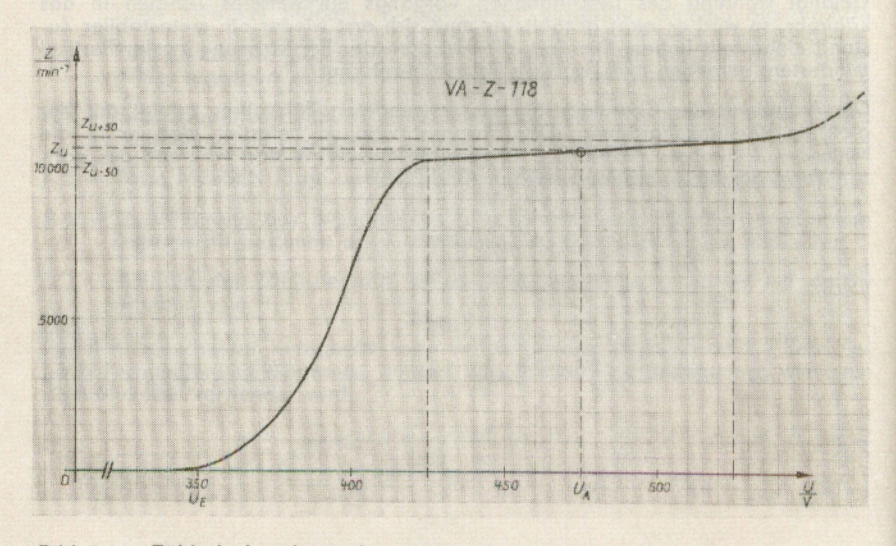


Bild 3.14 Zählrohrcharakteristik

Aus der Zählrohrcharakteristik kann man die wichtigsten Kenngrößen des Zählrohres entnehmen. Im einzelnen sind es folgende Parameter:

– **Einsatzspannung** U_E' bei der die ersten Impulse gezählt werden;

– **Plateau,** in dem der Arbeitspunkt des Zählrohres liegt. Am Ende des Plateaus steigt die Zählrate weiter rasch an, bis die selbständige Gasentladung einsetzt (Dauerentladung);

– **Geigerschwelle** ist die konvexe Krümmung der Kurve, bei der der Übergang vom Bereich der beschränkten Proportionalität in den Auslösebereich erfolgt;

– **Plateauanstieg** gibt an, um wieviel Prozent die Zählrate ansteigt, wenn die Zählrohrspannung im Plateaubereich um 100 V erhöht wird. Die Steigung =

$$\frac{({}^{z}U_{+50\,V} - {}^{z}U_{-50\,V}) \cdot 100}{{}^{z}U} \quad \text{wird angegeben in} \quad \frac{\%}{100\,V}$$

Gute Zählrohre haben kleine Steigungen und ein langes Plateau – das Rohr ist unbrauchbar, wenn sich die Steigung auf ca. 15 %/100 V erhöht hat.

– **Arbeitsspannung** U_A' sie muß in der ersten Hälfte des Plateaus liegen; für praktische Zwecke ist $U_A \approx U_E + 80$ V leicht einzustellen.

Weitere Parameter werden im folgenden behandelt.

3.2.2 Bestimmung des Nulleffekts

Geräte: POLYDIGIT 1

Stromversorgungsgerät für Mittelspannung SV 59/52-3 o. ä.

Zählrohr VA-Z-116 oder -118

Zählrohr-Anpassungsstufe

abgeschirmte Leitung

Spannungsmesser 500 V

Uhr mit Sekundenzeiger

Der Aufbau und die Zusammenschaltung der Geräte erfolgen wie im vorangegangenen Experiment. Die Arbeitsspannung wird auf den ermittelten Wert eingestellt, radioaktive Präparate dürfen sich nicht in der Nähe des Zählrohres befinden.

Der Zähler wird gestartet und mehrmals werden über eine Minute die Impulse gezählt. Diese Zählraten, die durch Umgebungs- und Höhenstrahlung verursacht werden, heißen Nulleffekt des Zählrohres. Die Größe des Nulleffektes ist auch noch abhängig von den Abmessungen und dem Alter des Zählrohres. Bei niedrigen Zählraten muß der Mittelwert des Nulleffekts berücksichtigt werden.

Tabelle 3.1: Nulleffekt eines Zählrohres VA-Z-118

m	$\dfrac{z_o}{\text{min}^{-1}}$	v	vv
1	71	7	49
2	64	0	0
3	66	2	4
4	63	1	1
5	69	5	25
6	69	5	25
7	67	3	9
8	56	8	64
9	60	4	16
10	59	5	25
	$[z_o] =$ 644 min^{-1}		$[vv] =$ 218

$$\bar{z}_o = \frac{[z_o]}{m}$$

$$\bar{z}_o = 64 \text{ min}^{-1}$$

$$\triangleleft z_o = \sqrt{\frac{vv}{m\,(m-1)}}$$

$$\triangleleft z_o \approx \pm 2 \text{ min}^{-1}$$

$$z_o = (64 \pm 2) \text{ min}^{-1}$$

3.2.3 Zählstatistik

Geräte: POLYDIGIT 1

Stromversorgungsgerät für Mittelspannungen SV 59/52-3 o. ä.

Zählrohr VA-Z-116 oder -118

Zählrohr-Anpassungsstufe

abgeschirmte Leitung

Spannungsmesser 500 V

Uhr mit Sekundenzeiger

2 Präparate verschiedener Aktivität, zum Beispiel Kr 85 und Ra D

Die Versuchsanordnung wird nach Bild 3.12 aufgebaut und die Messungen werden nach den Handlungen A 2 — A 7 bei unveränderter äußerer Geometrie für jedes Präparat mindestens 100mal je eine Minute durchgeführt. Die einzelnen Zählraten werden für jedes Präparat in eine besondere Tabelle geschrieben.

Die Emission der Kernstrahlung erfolgt durch den spontanen Zerfall instabiler Kerne. Über den einzelnen Atomkern ist keine Aussage möglich, sondern nur über die statistische Gesamtheit. Die ermittelte Zählrate unterliegt statistischen Schwankungen; daneben wird die Genauigkeit durch die unvollkommene Zählung (das Zählrohr registriert nur einen Bruchteil der emittierten Strahlung) und die bei allen Messungen auftretenden systematischen Fehler beeinflußt.

Experimentelle Untersuchungen mit einem langlebigen Präparat unter gleichen Bedingungen ergeben, daß die einzelnen Meßwerte sich um einen bestimmten Mittelwert gruppieren. Dabei ist die prozentuale Abweichung um so geringer, je höher die Zählrate ist, während bei niedrigen Zählraten die Abweichung groß wird. Deshalb wird man bei Messungen mit möglichst hohen Gesamtzählraten arbeiten, d. h. man setzt möglichst Radionuklide mit großer Aktivität ein oder man muß lange Meßzeiten wählen. Der wahre Mittelwert, der mit Sicherheit durch keine statistischen Schwankungen beeinflußt wird, kann erst aus einer sehr großen Anzahl von Einzelmessungen gewonnen werden.

Die Auswertung der Meßreihen erfolgt so, daß man sich von allen Werten zunächst den kleinsten und den größten heraussucht und an Hand dieser Werte zehn gleiche Intervalle (oder auch mehr) errechnet. Sämtliche Meßwerte werden sodann diesen Intervallen zugeordnet, wobei nur die Häufigkeit der Zuordnung von Interesse ist. In einer weiteren Spalte wird die kumulative Häufigkeit errechnet.

Tabelle 3.2: Klasseneinteilung von je 100 Meßwerten

Klasse K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bereich	898–927	929–958	959–988	989–1018	1019–1048	1049–1078	1079–1108	1109–1138	1139–1168	1169–1198
Häufigkeit H	1	2	4	10	19	22	20	12	7	3
Kumulative Häufigkeit H_K	0,01	0,03	0,07	0,17	0,36	0,58	0,78	0,90	0,97	1,00
Bereich	8098–8681	8682–9265	9266–9849	9850–10433	10434–11017	11018–11601	11602–12195	12196–12779	12780–13363–	13363 13936
Häufigkeit H	1	1	2	6	25	39	22	9	4	1
Kumulative Häufigkeit H_K	0,01	0,02	0,04	0,10	0,35	0,74	0,86	0,95	0,99	1,00

Die graphische Darstellung erfolgt in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf Millimeterpapier, wobei auf der Abszissenachse die Klassen K und auf der Ordinatenachse die Häufigkeit H dargestellt werden (Bild 3.15).

Eine andere Graphik erhält man, wenn man die kumulative Häufigkeit von den Klassen darstellt (Bild 3.16).

Das Bild 3.15 bestätigt die oben genannte Aussage. Die Meßwerte gehorchen dem POISSONschen Verteilungsgesetz

$$W(n) = \frac{\bar{n}^n}{n!} \cdot e^{-\bar{n}}$$

($\bar{n}$ = Mittelwert der Zählrate, n = Zählrate). Für unendlich viele Einzelmessungen (Idealfall) geht die POISSON-Verteilung in die bekannte GAUSS-Verteilung über. Über die weitere Auswertung der Meßergebnisse informiere man sich in der speziellen Fachliteratur.

Bemerkung: Dieser Versuch ist nicht in einer Unterrichtsstunde durchführbar (reine Meßzeit zweimal 100 Minuten!). Die Ergebnisse lassen sich aber interpretieren — die Schüler erkennen den Unterschied zwischen dynamischen und statistischen Gesetzesaussagen.

3.2.4 Längsempfindlichkeiter eines Halogenzählrohres

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

Stativmaterial

Einsatz vom großen Stativfuß

Zählrohrkabel

β-Präparat, zum Beispiel RaD

kurze Schiene

kurzes Lineal
3 Reiter
3 Magnete
Zeiger
} Teile der optischen Bank (Nr. 41 010)

Zunächst wird die Zählrohranordnung nach Bild 2.12 zusammengestellt. Das Zählrohr wird mit Stativmaterial und einem Reiter auf der kurzen Schiene der optischen Bank befestigt, ebenso das Präparat (Bild 3.17). Das Präparat muß eine Abschirmung erhalten, damit nur der jeweils vorgesehene Bereich des Zählrohres bestrahlt wird. Als Abschirmung geeignet erweisen sich die Einsätze für die großen V-Füße, die mit einem Gewindeloch M 5 versehen sind.

Die Geräte werden eingeschaltet und die Zählrohrspannung eingestellt. Nun wird das Präparat jeweils um einen Zentimeter, bei der Fassung beginnend, verrückt und die zugehörige Zählrate bestimmt (Tabelle 3.3).

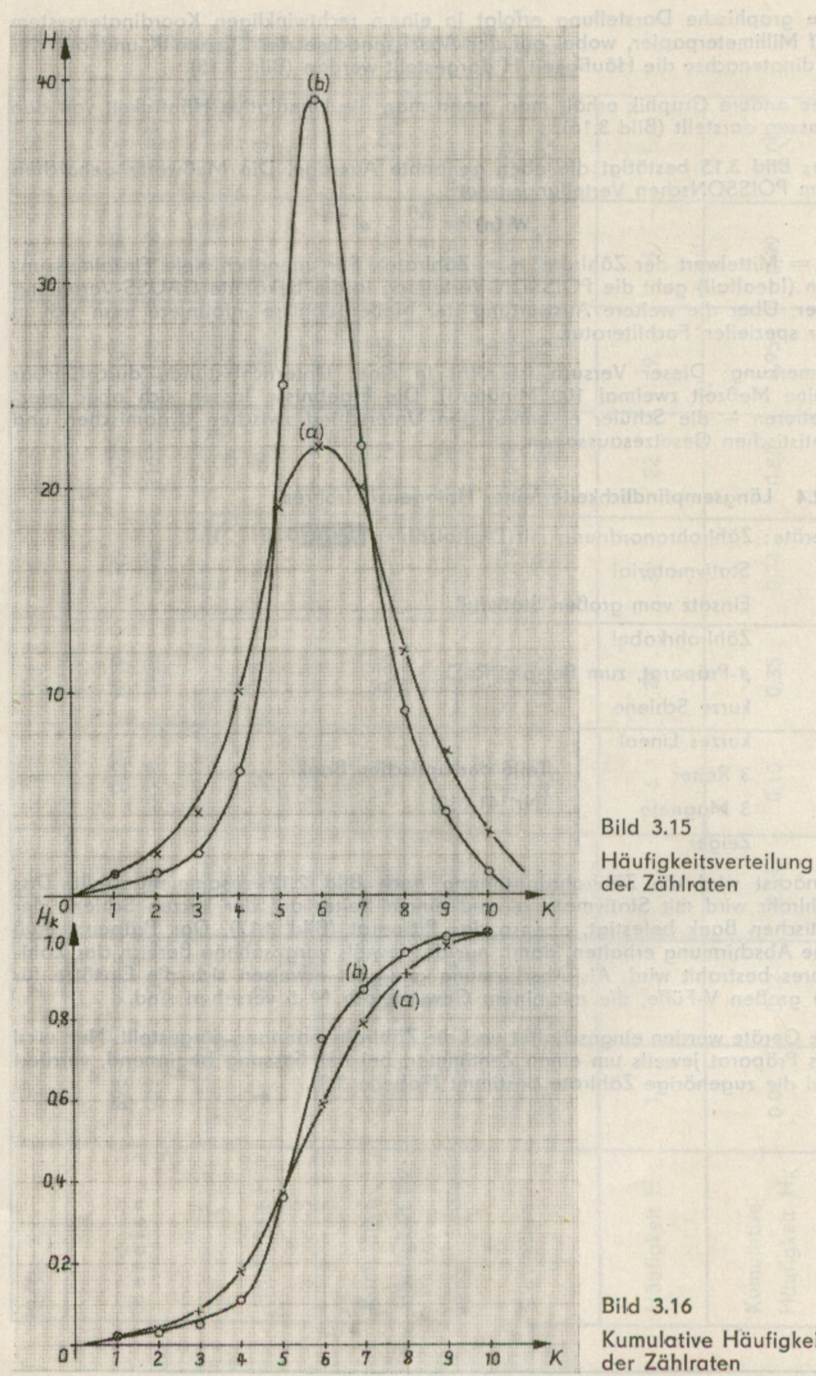


Bild 3.15
Häufigkeitsverteilung der Zählraten

Bild 3.16
Kumulative Häufigkeit der Zählraten

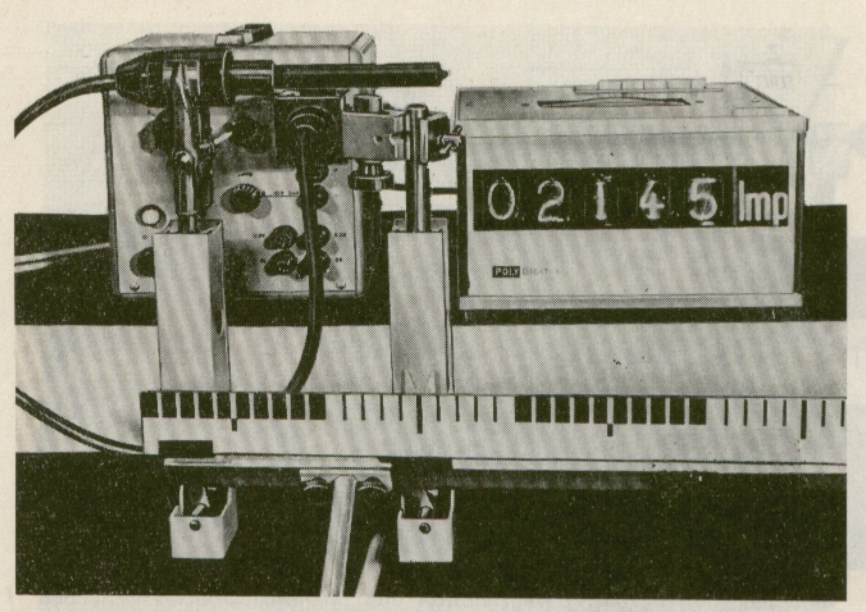


Bild 3.17 Versuchsanordnung zur Messung der Längenempfindlichkeit eines Zählrohres auf der optischen Bank

Tabelle 3.3: Zählraten für die Längsempfindlichkeit eines Halogenzählrohres

$\frac{l}{\text{cm}}$	$\frac{z}{\text{min}^{-1}}$	
0	376	
1	2507	
2	2752	
3	2601	
4	2697	Nullrate
5	2656	$\bar{z}_o = 64\ \text{min}^{-1}$
6	2693	
7	2493	
8	445	
9	91	

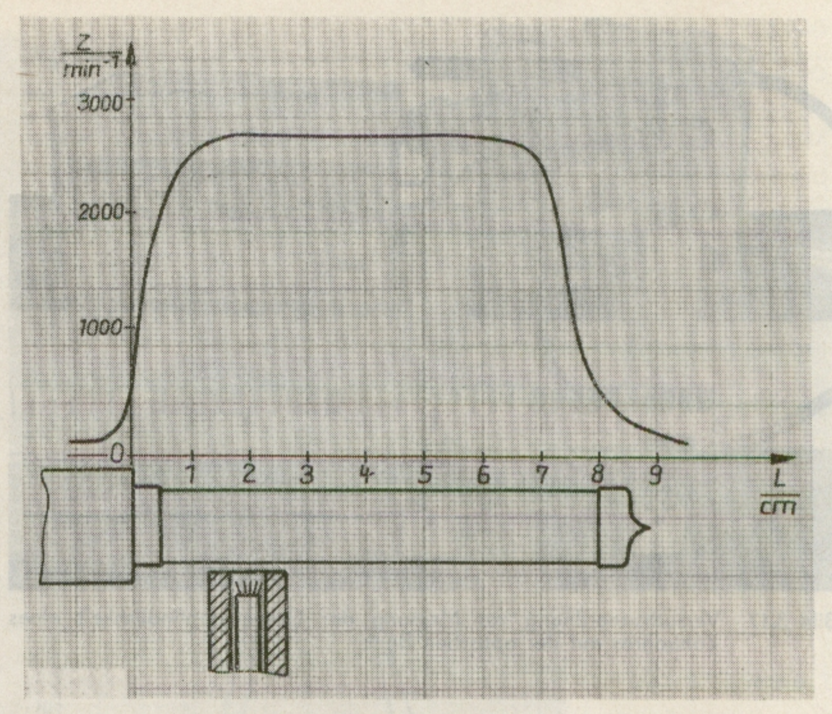


Bild 3.18 Längsempfindlichkeit des Halogenzählrohres VA-Z-118

Ergebnis: Der graphischen Darstellung nach Bild 3.18 ist zu entnehmen, daß die Empfindlichkeit des Halogenzählrohres VA-Z-118 im mittleren Bereich am größten ist. Diese Tatsache beachte man bei allen Versuchen!

3.2.5 Abstandsgesetz

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

lange Schiene
3 Klemmreiter
langes Lineal
3 Magnete
Zeiger
β-Präparat, zum Beispiel Kr 85

} Teile der optischen Bank (Nr. 41 010)

Für den Aufbau der Experimentieranordnung ist die lange Sechskantschiene der optischen Bank geeignet. Das Zählrohr und das β-Präparat werden mit Klemmreitern und Stativmaterial auf der Schiene nach Bild 3.19 befestigt.

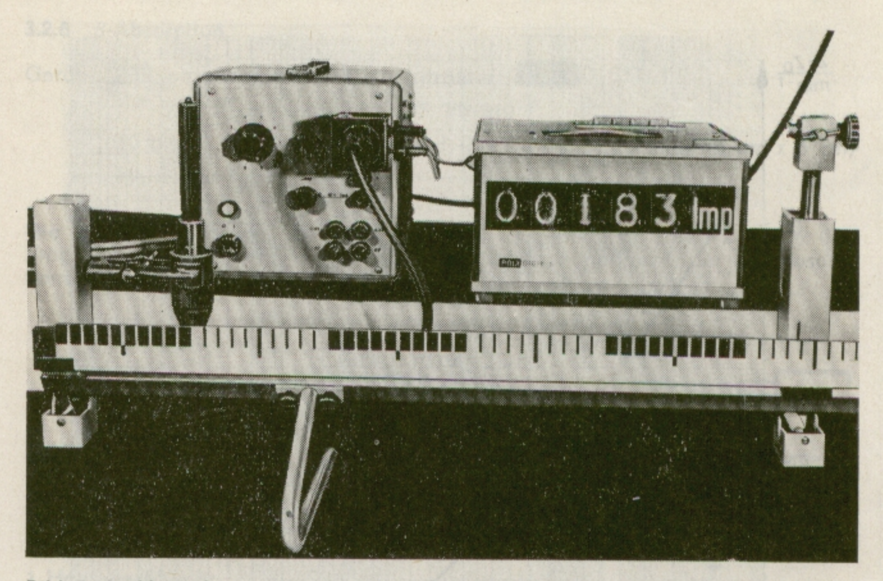


Bild 3.19 Versuchsanordnung zum Abstandsgesetz auf der optischen Bank

Die Zählanordnung wird nach Bild 3.12 zusammengestellt und in Betrieb genommen. Das Präparat stellt man im Abstand von einem Zentimeter auf und bestimmt die Zählrate für drei Minuten, ebenso für 10, 25, ... Zentimeter (siehe Tabelle 3.4). Die Wertepaare werden auf halblogarithmischem Papier dargestellt (Bild 3.20).

Tabelle 3.4: Meßwerte zum Abstandsgesetz

$\frac{d}{cm}$	$\frac{z}{min^{-1}}$	$\frac{z_o}{min^{-1}}$	$\frac{z - z_o}{min^{-1}}$
1,0	2388		2324
2,5	1561		1497
5,0	1082		1018
7,5	904		840
10	741	64	677
15	508		444
25	215		141
50	115		51
75	67		3
100	61		0

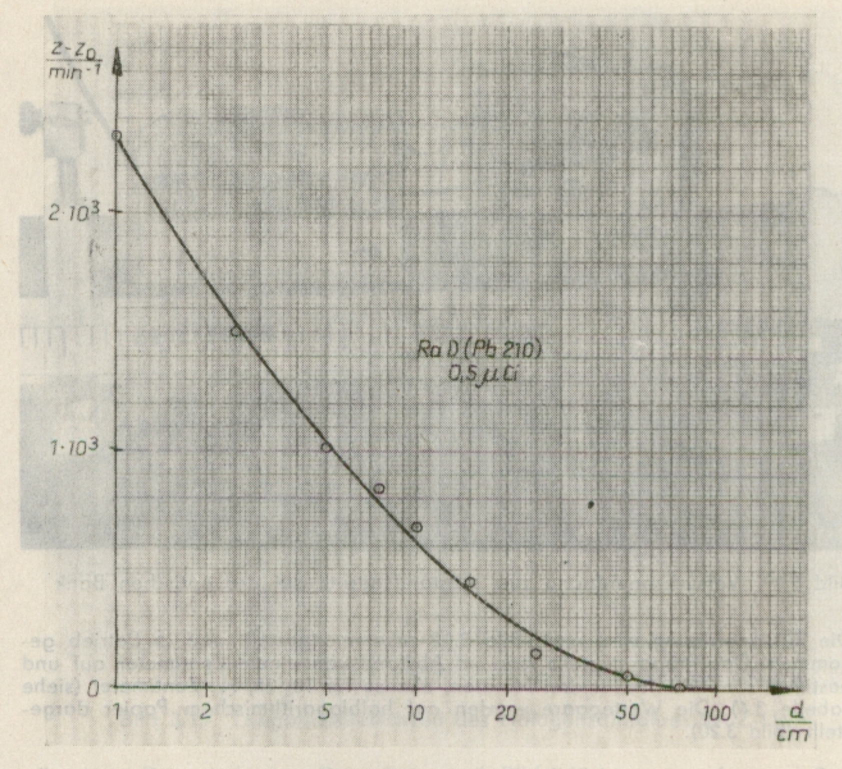


Bild 3.20 Graphische Darstellung zum Abstandsgesetz

Ergebnis: Die Zählraten[1]) werden mit größer werdenden Entfernungen d immer kleiner — die Dosisleistung $\frac{dD}{dt}$ nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

$$\frac{dD}{dt} \sim \frac{A}{d^2} \qquad (3.3)$$

(A = Aktivität, d = Abstand Quelle — Aufpunkt)

Schlußfolgerung: Der sicherste Strahlenschutz vor der Strahlenbelastung ist der entsprechende Abstand von der Quelle. Das Radionuklid darf niemals direkt mit den Fingern berührt werden, sondern nur am vorgesehenen Griffstück bzw. mit Zangen u. ä.

1) Die ermittelten Zählraten sind nicht identisch mit der Aktivität der Strahlenquelle — sie sind nur ein Bruchteil der emittierten Strahlung. Die Aktivität eines Radionuklids ist die gesamte ausgesandte Strahlung pro Zeiteinheit.
Einheit: 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}\ s^{-1}$

3.2.6 β-Absorption

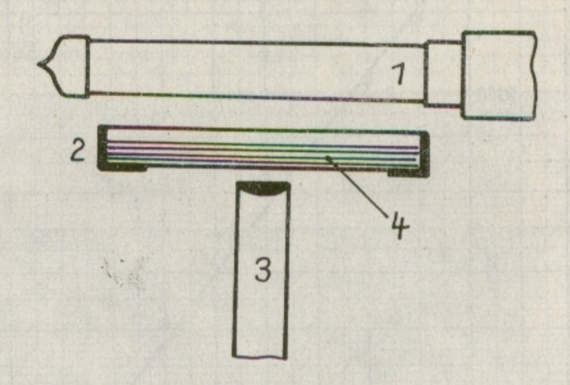
Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

β-Präparat zum Beispiel Kr 85, Pb 210

10 bis 15 Absorptionsfolien und -bleche aus Aluminium (6 cm x 6 cm)

Halter für Folien

Die Zählrohranordnung wird nach Bild 3.12 aufgebaut. Zwischen Zählrohr und Präparat wird ein kleiner Halter aus Winkelblech angebracht, der die Absorptionsfolie aufnimmt (3.21).



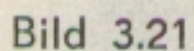


Bild 3.21

Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues zur β-Absorption

1 Halogenzählrohr,

2 Halter für Absorptionsfolien, 3 β-Präparat,

4 Absorptionsfolien bzw. -platten

Nachdem die Arbeitsspannung eingestellt wurde, wird das Präparat entfernt und über fünf Minuten der Nulleffekt bestimmt. Die eigentliche Messung beginnt ohne Folie bei einer festen Anordnung des Präparates (Meßzeit mindestens drei Minuten). Dann wird eine Folie in den Halter gelegt und die Zählrate wieder über drei Minuten bestimmt mit zwei, drei, ... Folien, bis man in den Bereich des Nulleffektes kommt.

Die Zählrate (unter Abzug des Nulleffekts) wird in Abhängigkeit von der Flächenmasse auf halblogarithmischem Papier dargestellt (Bild 3.22). Das Nomogramm des Bildes 3.23 ermöglicht ein schnelles Ermitteln der Flächenmasse D aus der Dicke d der Folie.

Die Flächenmasse $D = \gamma \cdot d$

(γ = Dichte, d = Dicke des absorbierten Stoffes)

ist in der Kernphysik eine wichtige Größe. So wird zum Beispiel radioaktive Strahlung von Platten mit gleicher Flächenmasse in derselben Größe absorbiert, also 0,0887 mm Pb, 0,367 mm Al und 1,00 mm Papier absorbieren die gleiche Strahlung (Bild 3.23). Aluminiumfolien von 0,092 mm Stärke haben eine Flächenmasse von 25 mg $\cdot$ cm^{-2}.

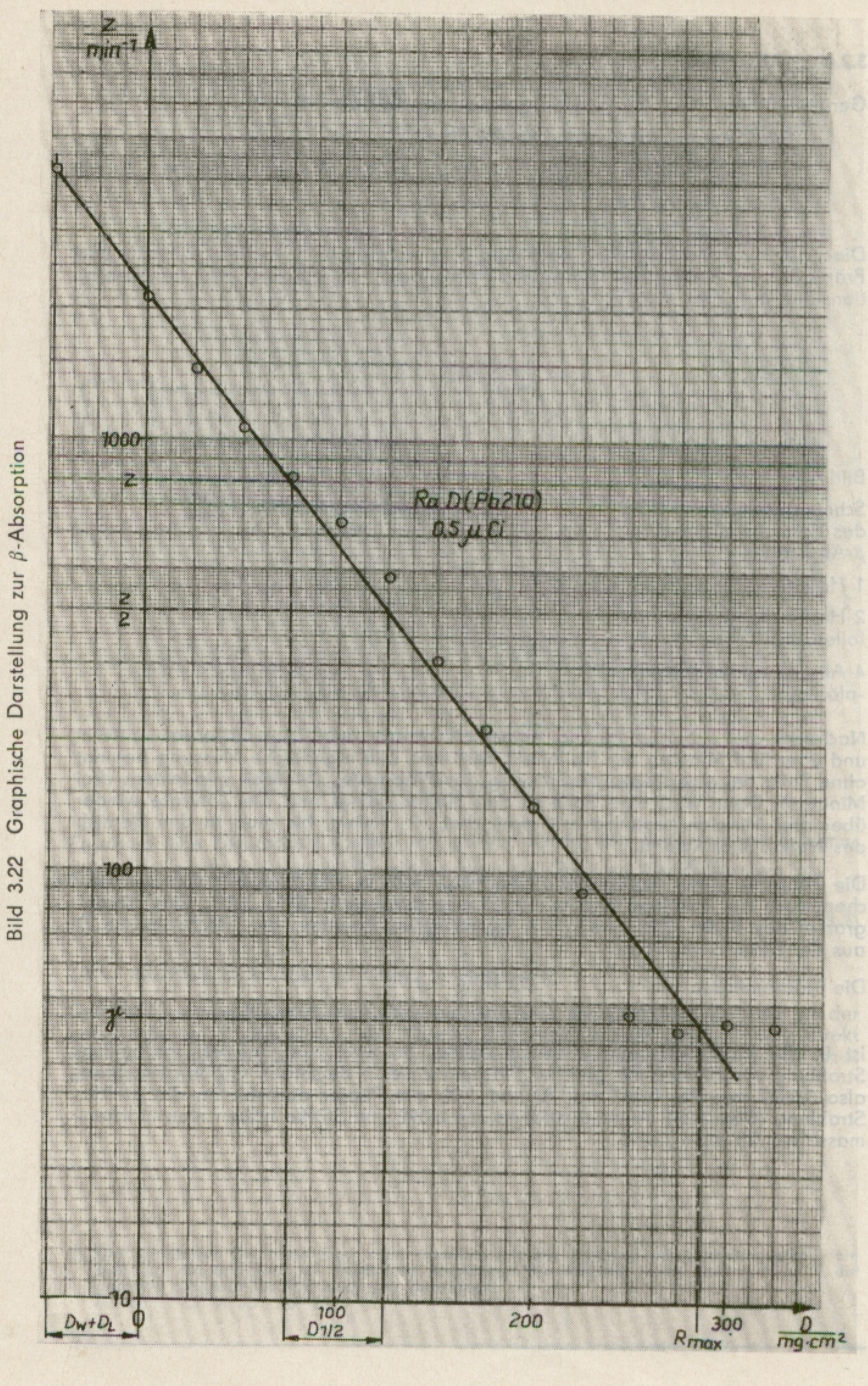


Bild 3.22 Graphische Darstellung zur β-Absorption

Bei der Auswertung der graphischen Darstellung muß auch die Absorption der β-Strahlung in der Zählrohrwandung (D_W) und der Luft (D_L) zwischen Präparat und Zählrohr berücksichtigt werden. (D_W wird dem Datenblatt entnommen, D_L nach Gl. (3.4) errechnet; $\gamma_{Luft} \approx 1{,}205 \cdot 10^{-3}$ mg · cm^{-3}).

Nr.	Material	γ / g · cm^{-3}
1	Pb	11,34
2	Cu	8,93
3	Fe	7,86
4	Al	2,72
5	Mg	1,74
6	Papier	≈ 1
7	Gummi (roh)	0,94

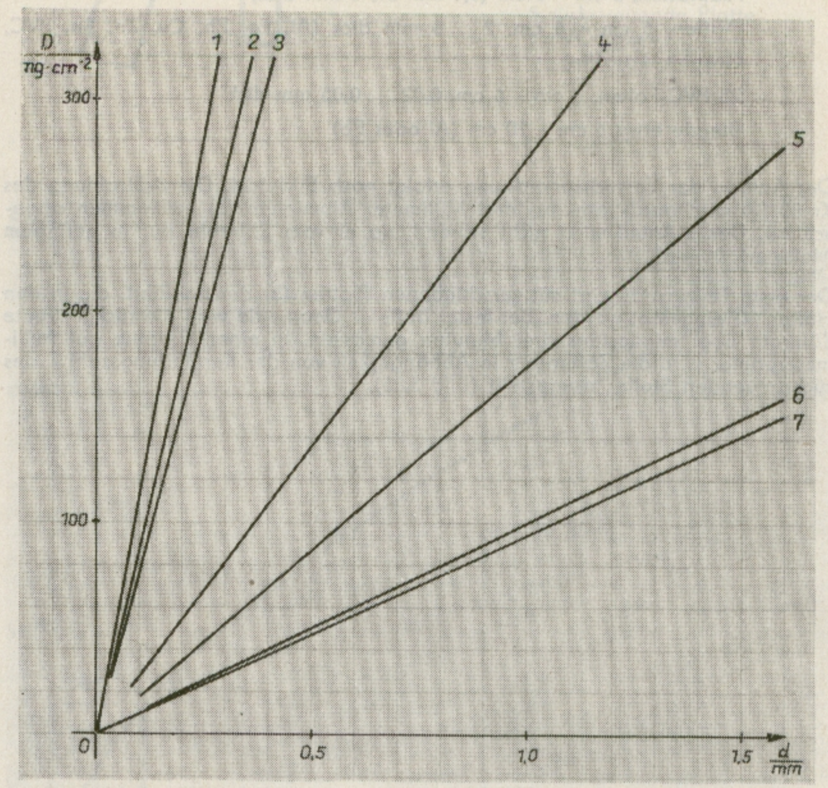


Bild 3.23 Nomogramm zur Ermittlung der Flächenmasse einiger Stoffe

Bei monoenergetischen Strahlern ergeben die Zählraten auf halblogarithmischem Papier eine Gerade.[1]) Die Abszisse des Schnittpunktes der Geraden mit der Achse wird als maximale Reichweite $R_{f max.}$ der β-Strahlung bezeichnet. Bei Mischstrahlern (z. B. Sr 90 / Y 90) ist die Kurve stark gekrümmt. Die Halbwertflächenmasse $D_{1/2}$ wird bestimmt, indem man zu einer Zählrate z und $\frac{z}{2}$ die zugehörigen Flächenmasse abliest. Die Halbwertflächenmasse $D_{1/2} = D_z - D_{z/2}$ gibt an, welche Flächenmasse erforderlich ist, um die Strahlung um die Hälfte zu schwächen. Diese Größe ist für den Strahlenschutz sehr wichtig. Mit Gl. (3.4) kann aus ihr die erforderliche Stärke der Schutzwände usw. berechnet werden.

3.2.7 Rückstreuung

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

β-Präparat, z. B. Kr 85

Halter für Absorptionsplatten u. a. (wie 3.2.6)

Aluplatten, 6 cm · 6 cm (0,1 mm bis 3 mm dick)

Platten, 6 cm · 6 cm, 2...5 mm dick (Al, Fe, Pb, Cu, Zn, Sn, PVC, Graphit, Paraffin)

25 PVC-Folien, 6 cm · 6 cm, 0,02...0,05 mm dick

Blende etwa 6 cm · 10 cm (Al oder Pb)

Der Aufbau der Versuchsanordnung erfolgt nach Bild 3.24. Die β-Strahlung des Kr 85 (2) wird durch zwei bis drei Millimeter Aluminium (3) vollkommen abgeschirmt. Der γ-Anteil wirkt nicht störend, da er vom Zählrohr nur in geringem Maße erfaßt wird.

Der erste Teilversuch wird mit verschiedenen Platten (5) durchgeführt, die in den Halter (4) eingelegt werden. Bei fester äußerer Geometrie wird die rückgestreute Zählrate über mindestens drei Minuten gemessen. In einer Graphik auf Millimeterpapier wird die Zählrate z in Abhängigkeit von der Kernladungszahl Z des rückstreuenden Stoffes dargestellt (Bild 3.25).

1) β-Strahlung hat ein kontinuierliches Energiespektrum; gemeint ist hier die maximale Energie. Durch die Streuung der β-Strahlung an den Luftmolekülen und durch Absorptionsvorgänge in der Luft und der Zählrohrwandung gelangen nicht alle Teilchen in den aktiven Bereich des Zählrohres – es kann kein streng exponentieller Verlauf nachgewiesen werden (Abweichung von der Geraden auf halblogarithmischem Papier).

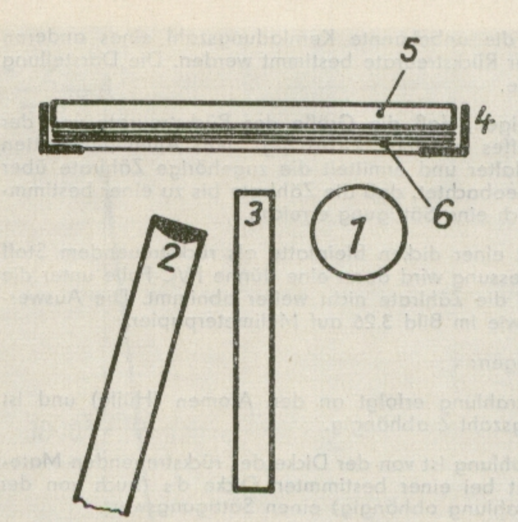


Bild 3.24
Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur β-Rückstreuung
1 Zählrohr, 2 β-Präparat, 3 Blende, 4 Halter, 5 rückstreuende Platte, 6 PVC-Folien

Bild 3.25 Abhängigkeit der β-Rückstreuung von der effektiven Kernladungszahl

An Hand dieser Kurve kann die unbekannte Kernladungszahl eines anderen Stoffes durch die Ermittlung der Rückstreurate bestimmt werden. Die Darstellung $z = f(\sqrt{z})$ ergibt eine Gerade.

Der zweite Teilversuch soll zeigen, daß die Größe der Rückstreurate von der Dicke des rückstreuenden Stoffes abhängt. Dazu legt man Aluminiumplatten verschiedener Stärke in den Halter und ermittelt die zugehörige Zählrate über eine längere Zeitdauer. Man beobachtet, daß die Zählrate bis zu einer bestimmten Stärke anwächst und danach eine Sättigung erreicht.

Der dritte Teilversuch wird mit einer dicken Bleiplatte als rückstreuendem Stoff begonnen. Für jede weitere Messung wird dann eine dünne PVC-Folie unter die Bleiplatte gelegt, solange, bis die Zählrate nicht weiter abnimmt. Die Auswertung erfolgt in einer Graphik wie im Bild 3.26 auf Millimeterpapier.

Ergebnisse und Schlußfolgerungen:

1. Die Rückstreuung der β-Strahlung erfolgt an den Atomen (Hülle) und ist folglich von der Kernladungszahl Z abhängig.

2. Die Rückstreuung der β-Strahlung ist von der Dicke des rückstreuenden Materials abhängig und erreicht bei einer bestimmten Dicke d_s (auch von der maximalen Energie der Strahlung abhängig) einen Sättigungswert.

3. Werden absorbierende Schichten auf rückstreuende Flächen (Dicke über der Sättigung) gebracht, so nimmt die Zählrate ab, bis auch hier eine Sättigung erreicht ist (im Beispiel etwa bei $d_s = 0{,}4$ mm Dicke). Auf diese Weise können Dicken von Farb- und Lackschichten, Metallschichten auf Keramik oder anderen Stoffen, Folien, Papierbahnen u. ä. bestimmt werden (s. 3.2.10).

Auf einen Modellversuch zur Bestimmung von Legierungsbestandteilen soll noch hingewesen werden: In drei dünnwandigen Plasteschalen (Deckel von Konservengläsern) werden in der Reihenfolge Stahl-, Glas- und Stahl/Glas-Kugeln (Modellegierung) gegeben (z. B. vom Gerät für Modellversuche zur kinetischen Gastheorie Nr. 38 450). Es werden von allen drei "Stoffen" die Rückstreuraten ermittelt und miteinander verglichen — der Wert für die Modellegierung liegt zwischen denen der Ausgangsstoffe.

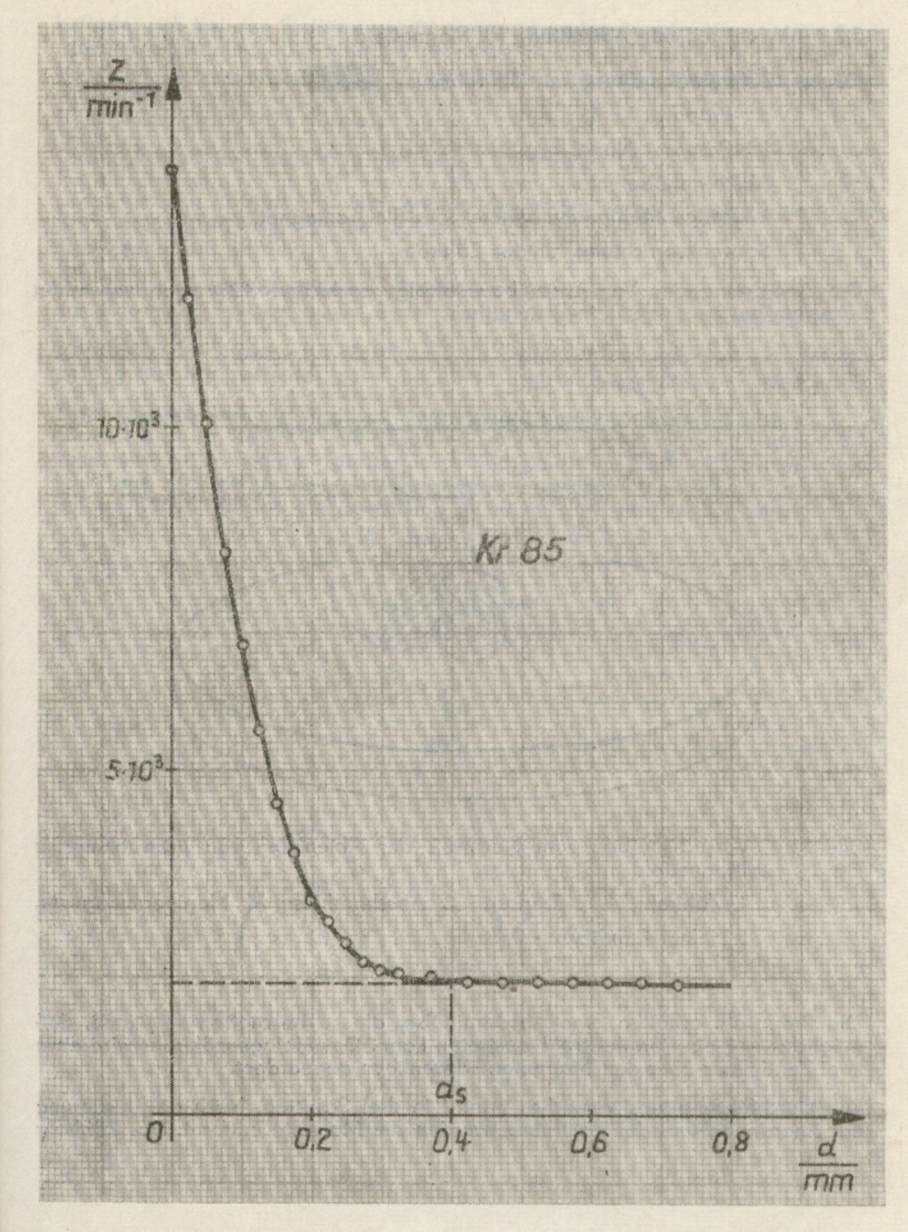


Bild 3.26 Abhängigkeit der β-Rückstreuung von den absorbierenden Zwischenschichten

3.2.8 Ablenkung der β-Strahlung im Magnetfeld

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

$\beta-$-Präparat Kr 85

$\beta+$-Präparat Na 22

Abschirmhülse

2 kräftige Manipermmagnete oder Elektromagnet

Schwenkvorrichtung für das Zählrohr

Die Anordnung des Versuchsaufbaus erfolgt nach Bild 3.27; man verwendet dazu am besten einen kleinen Rundtisch.

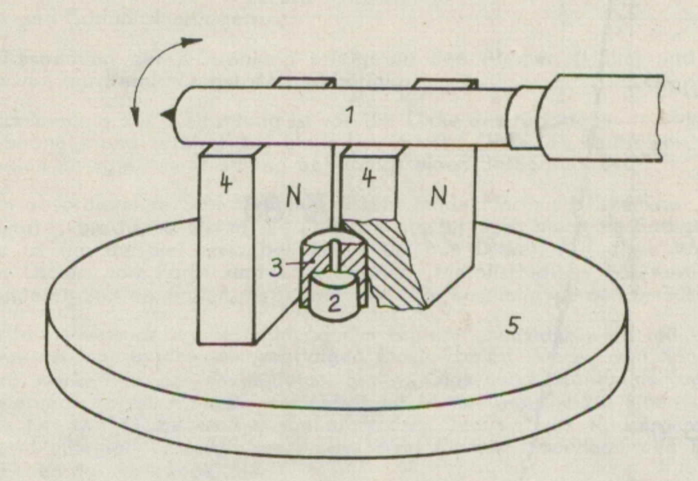


Bild 3.27 Versuchsaufbau zum Nachweis der Ablenkung von β-Strahlung im Magnetfeld

1 Zählrohr, 2 β-Präparat, 3 Abschirmhülse, 4 Manipermmagnete, 5 kleiner Rundtisch

Die Präparate erhalten eine Abschirmhülse, die so beschaffen sein muß, daß möglichst nur ein Parallelstrahl austreten kann. Das Halogenzählrohr wird etwa zwei Zentimeter über den Magneten schwenkbar angeordnet.

Die Durchführung des Versuches erfolgt in drei Schritten. Nach der Justierung der Anordnung und des Zählrohres werden die Magnete entfernt. Das Zählrohr

befindet sich bei der Stellung von 0° genau über der Austrittsöffnung. Die Zählrate wird bestimmt über eine bis drei Minuten, je nach Aktivität. Danach erfolgt eine Schwenkung um 10°, 20° usw., wobei wie oben die zugehörige Zählrate ermittelt wird. Die Wertepaare trägt man in ein Koordinatensystem ein (Bild 3.28, gestrichelte Kurve).

Diesen Versuchsteil kann man mit beiden Präparaten ($\beta-$ und $\beta+$) durchführen. Für den zweiten Teil bringt man die Magnete wieder an ihren Platz. Die Messung mit dem Kr 85 ($\beta-$) wird analog der ersten vorgenommen, ebenso der dritte Teilversuch mit dem Na 22 ($\beta+$). Die Geometrie der Anordnung darf nicht geändert werden.

Die Zählraten der abgelenkten Strahlung werden ebenso wie oben erklärt in das Koordinatensystem eingetragen und durch einen Kurvenzug verbunden.

Steht kein $\beta+$-Strahler zur Verfügung, so kann man zeigen, daß bei der Umpolung des Magnetfeldes auch die Ablenkung nach der anderen Seite erfolgt.

Ergebnis: β-Strahlung wird im Magnetfeld abgelenkt (Lorentzkraft), d. h. es handelt sich um Teilchen mit negativer ($\beta-$) oder positiver ($\beta+$) Ladung. Teilchen mit großer Energie (große Geschwindigkeit) werden nicht so stark abgelenkt wie mit kleiner Energie. Da β-Teilchen eine kontinuierliche Energieverteilung haben, erfolgt die Ablenkung in einem größeren Winkelbereich.

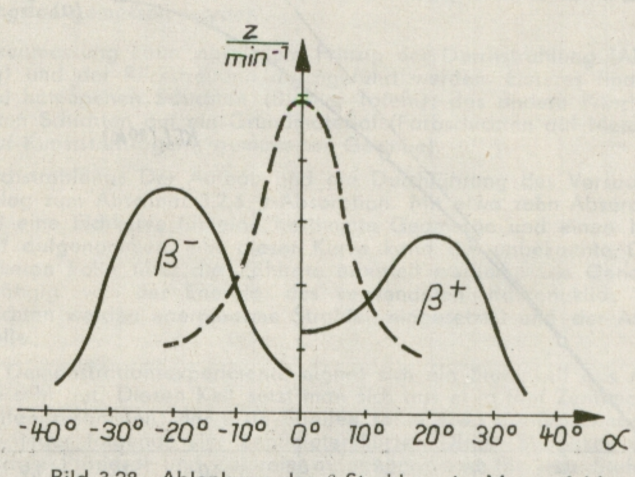


Bild 3.28 Ablenkung der β-Strahlung im Magnetfeld

3.2.9 Selbstabsorption

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1

Plastetellerchen (z. B. Deckel von größeren Arzneiflaschen)

Analysenwaage mit Wägesatz

Kaliumsalze (z. B. KCl), Uranoxid (U_3O_8) oder

andere radioaktive Substanzen

Auf kleinen, aber gleichen Tellerchen von etwa drei Zentimeter Durchmesser, werden kleine Massen der radioaktiven Substanzen eingewogen (100, 200, 400, 600 ... 1600 mg) und über die ganze Fläche gleichmäßig verteilt.

Die Zählrohranordnung stellt man nach Bild 3.12 zusammen und ermittelt im Vorversuch die Zählrate des Nulleffekts. Sodann werden im Hauptversuch die Zählraten der einzelnen Massen ermittelt (bei kleineren Zählraten über fünf bis zehn Minuten zählen!).

Beim Wechseln der Präparate achte man auf die exakte Einhaltung der Geometrie.

Die Zählraten z (Nullrate abziehen!) werden in Abhängigkeit von den Massen m graphisch dargestellt (Bild 3.29).

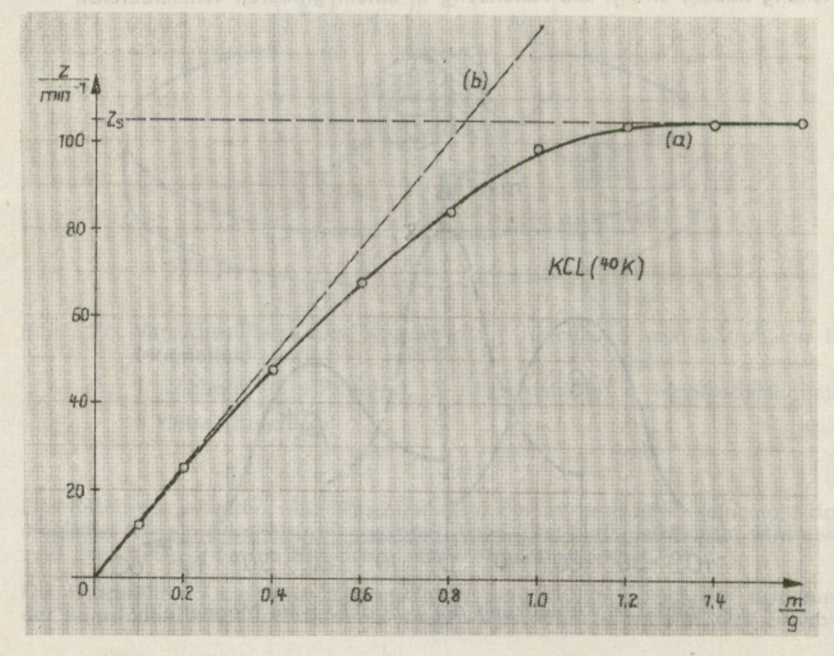


Bild 3.29 Selbstabsorptionskurve des Kaliumchlorids
(a) Kurve der gemessenen Zählrate z und
(b) extrapolierte Gerade der Zählrate z_w

Auswertung: Die gemessene Aktivität ist nicht proportional der Masse der radioaktiven Substanz — mit zunehmender Schichtdicke wird ein Teil der Strahlung im Präparat selbstabsorbiert. Bei einer bestimmten Schichtdicke (Masse) ist eine Sättigung erreicht, d. h. die Zählrate steigt nicht weiter an.

Durch Extrapolation erhält man eine Gerade, aus der der Selbstabsorptionsfaktor $c = \frac{z}{z}$ $(c \leq 1)$ ermittelt werden kann. Nur für sehr dünne Schichten gilt $z = z_w \sim m$, also $c = 1$;

(z gemessene Zählrate ohne Nulleffekt, z_w wahre Zählrate, z_s Zählrate der Sättigungsschicht, m Masse der radioaktiven Substanz).

In den Kalisalzen wird mit radiometrischen Methoden der Gehalt an K_2O überprüft. Das Kaliumisotop ^{40}K ist mit etwa 0,01 % in den natürlichen Vorkommen enthalten. Man erreicht Fehler kleiner als 0,5 %!

3.2.10 Dickenmessungen

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1
Halter für Absorptionsfolien bzw. -platten
Absorptionsfolien z. B. aus Aluminium, Kupfer, Triazetat
Stativmaterial
β-Präparat, z. B. Pb 210, Kr 85

Radiometrische Meßverfahren finden in immer breiteren Bereichen der Produktion Anwendung, vor allem für solche Aufgaben, die mit den herkömmlichen Mitteln nicht oder nur unbefriedigend gelöst werden konnten. So können band- oder strangförmige Materialien wie Gummi, Kunststoff, Kunstleder, Papier, Glas, Metalle, Textilien während des Herstellungsprozesses kontinuierlich und berührungslos gemessen werden.

Die Dickenmessung kann nach dem Prinzip der Durchstrahlung (Absorptionsmessung) und der Rückstreuung durchgeführt werden. Ersteres findet Anwendung bei homogenen Schichten (Bleche, Tafeln); das andere Prinzip bei aufgebrachten Schichten auf ein Grundmaterial (Farbschichten auf Metall, Kupferfolien auf Kunststoffträgern, gummiertes Gewebe).

(a) Durchstrahlung: Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgt analog zum Abschnitt 3.2.6 β-Absorption. Mit etwa zehn Absorptionsfolien wird eine Eichkurve für eine bestimmte Geometrie und einen bestimmten Stoff aufgenommen. Mit dieser Kurve kann die unbekannte Dicke einer stärkeren Folie über die Zählrate ermittelt werden. Die Genauigkeit ist abhängig von der Energie des verwendeten Radionuklids (für dünne Schichten werden energiearme Strahler eingesetzt!) und der Aktivität der Quelle.

Für Demonstrationsexperimente eignet sich ein Stufenkeil aus Aluminiumfolie sehr gut. Diesen Keil setzt man sich aus etwa fünf Zentimeter breiten Streifen zusammen; der erste Streifen sollte etwa dreißig Zentimeter lang sein, jeder folgende vier Zentimeter kürzer. Dieser Stufenkeil wird bifilar zwischen Präparat und Zählrohr aufgehängt und für jede Stufe wird die Zählrate bestimmt. Die Auswertung erfolgt wie oben erklärt.

(b) Rückstreuung: Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgen analog zum Abschnitt 3.2.7. Auch hier wird eine Eichkurve aufgenommen, die dann zur Ermittlung einer unbekannten Schichtdicke benutzt wird. Die technische Anwendung zur Messung dünner Auflageschichten (z. B. Zinn auf Eisen, Silber auf Kupfer) ist nur möglich, wenn die Ordnungszahlen der Stoffe sich mindestens um fünf unterscheiden.

3.2.11 Füllstandsmessungen

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1
β-Präparat, z. B. Kr 85
dünnwandiges Plasterohr oder -flasche mit gefärbter Flüssigkeit (Wasser)
Stativmaterial

Die Anzeige des Füllstandes großer Behälter und Silos für Flüssigkeiten und Schüttgüter ist eine häufig zu lösende Aufgabe. Technische Lösungen gibt es in verschiedenen Varianten, von denen einige als Modellversuch erläutert werden sollen.

(a) Das Bild 3.30 (a) zeigt die Füllstandsmessung nach der Durchstrahlungsmethode. Dieses Verfahren wird z. B. auch für die Untersuchung von Rohrleitungen benutzt, um Verstopfungen aufzusuchen. Für diesen Versuch ist es ausreichend, wenn der Digitalzähler POLYDIGIT 1 nur als Indikator benutzt wird, d. h. bei gefülltem Rohr beobachtet man ein langsames Laufen der Ziffern, bei leerem Rohr ein schnelles Laufen der Ziffern.

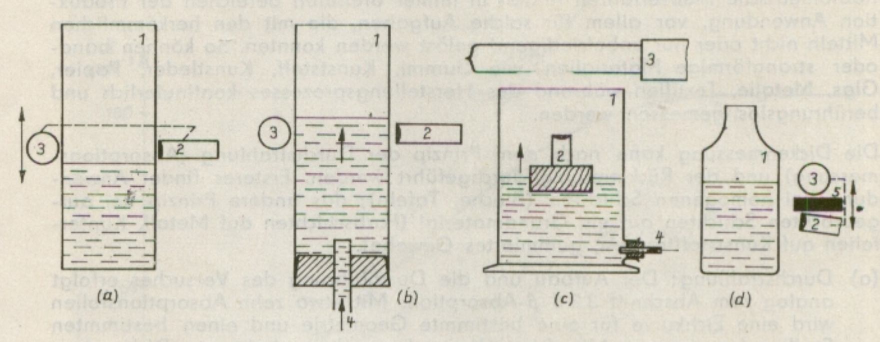


Bild 3.30 Verschiedene Möglichkeiten für Füllstandsmessungen
1 Behälter mit Flüssigkeit, 2 β-Präparat, 3 Zählrohr, 4 Zufluß, 5 Blende

(b) Bei dem Verfahren nach Bild 3.30 (b) bilden Zählrohr und Präparat eine unbewegliche Strahlenschranke; diese wird von dem ansteigenden Wasser unterbrochen. Der Digitalzähler POLYDIGIT 1 wird wie bei (a) eingesetzt.

(c) Für flache Gefäße eignet sich das Verfahren mit Schwimmer nach Bild 3.30 (c). Mit dieser Anordnung ist eine kontinuierliche Füllstandsmessung möglich (s. auch Abschnitt 3.25). Das Präparat wird auf einem Holzklotz befestigt und darf nicht in die Flüssigkeit fallen.

Die Versuche (a) und (b) sind nur mit einer dünnwandigen Plasteflasche durchführbar — Glasgefäße absorbieren die Strahlung. Versuch (c) läßt sich mit einem Standzylinder ausführen, der einen seitlichen Tubus hat.

(d) Auch die Rückstreuung der β-Strahlung kann für die Füllstandsmessung genutzt werden. Als rückstreuende Flüssigkeit eignet sich Quecksilber, das in der Aufbewahrungsflasche aus Plastmaterial bleibt. Die Anordnung von Präparat und Zählrohr geht aus dem Bild 3.30 (d) hervor; die Durchführung erfolgt wie bei den obigen Versuchen.

3.2.12 γ-Defektoskopie

Geräte: Zählrohranordnung mit Digitalzähler POLYDIGIT 1
γ-Präparat (Co 60, Cs 137)
Quader aus Eisenwerkstoffen oder Aluminium mit Hohlraum
Karton mit Sand

Die γ-Defektoskopie ist ein Verfahren der zerstörungsfreien Grobstrukturuntersuchung. Durch die Verwendung von γ-Strahlen ergeben sich einige Vorteile gegenüber Röntgenstrahlen: es entfallen aufwendige Hochspannungsgeräte, der Transport der γ-Quellen ist leichter und es können größere Materialstärken durchstrahlt werden; die Wartung ist einfacher. Nachteilig ist der ständig erforderliche Strahlenschutz und bei radiographischen Aufnahmen die längeren Expositionszeiten sowie die weniger kontrastreichen Bilder. Auch das Zählrohr kann als Detektor für die Untersuchung von Gußteilen u. ä. eingesetzt werden. Vorteilhaft ist dabei das sofortige Vorliegen des Untersuchungsergebnisses.

Für einen Modellversuch fertigt man sich ein zweiteiliges Werkstück aus einem Eisenwerkstoff oder Aluminium an. Die Stärke der Platten soll zwischen 15 und 20 Millimeter liegen. Beide Platten werden durch zwei Paßstifte arretiert und müssen leicht zerlegbar sein. Ins „Innere" dieses Werkstückes bohrt man ein oder zwei große Löcher als Lunker. Auch ein flacher Karton, der acht bis zehn Zentimeter hoch mit Sand gefüllt ist und als „Einschluß" eine kleine Schachtel o. ä. enthält, ist für diesen Versuch geeignet.

Zur Demonstration wird zunächst die Zählrohranordnung nach Bild 3.12 aufgebaut und die Betriebsspannung des Zählrohres eingestellt. Das γ-Präparat wird etwa zehn Zentimeter unterhalb des Werkstückes angeordnet. Mit dem Zählrohr überstreicht man sodann das Werkstück längs und quer, bis man am schnelleren Lauf der Ziffern des POLYDIGIT 1 erkennt, daß der „Defekt" eingekreist ist. Diese Stelle wird markiert und anschließend der „Einschluß" gezeigt. Für Materialuntersuchungen werden die γ-Strahler Thulium 170 (für Eisenwerkstoffe bis 6 mm Dicke), Iridium 192 (von 5 mm bis 70 mm), Zäsium 137 (von 20 mm bis 100 mm) und Kobalt 60 (von 50 mm bis 200 mm) eingesetzt.

3.2.13 Hinweise auf weitere Experimente zur Kernphysik

Die Experimente zur Kernphysik und deren Anwendung, die in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben wurden, stellen nur eine Auswahl vor. Der Digitalzähler POLYDIGIT 1 kann für alle Versuche zur Kernphysik eingesetzt werden, bei denen eine quantitative Erfassung der Zählraten erforderlich ist. Als weitere Versuche, die auch im Physikunterricht durchgeführt werden können, seien genannt:

- Bestimmung der Totzeit von Geiger-Müller-Zählrohren;
- Bestimmung der Halbwertzeiten kurzlebiger Radionuklide;
- Nachweis der Radioaktivität der Luft;
- radiometrische Volumenbestimmung von Flüssigkeiten;
- Aufsuchen von radioaktiven Verschmutzungen (Kontaminationen);
- Nachweis von Röntgenstrahlung;
- Erzeugung von Röntgenstrahlung mit γ-Quellen;
- Koinzidenzmessungen;
- Wirkungsweise von Strahlenschranken für Stückzählungen, Verpackungskontrolle, für Steuerungszwecke im Maschinenbau, für Sicherungs- und Signalanlagen im Verkehrswesen u. v. a. m.

3.3 Zeitmessungen

Das Blockschaltbild für die digitale Zeitmessung zeigt Bild 3.31. Von einem frequenzkonstanten Generator (meistens quarzstabilisiert) werden Schwingungen erzeugt, die von einer Impulsformerstufe in Rechteck- oder Nadelimpulse umgewandelt werden (sogenannte Zeitmarken). Die Impulsfrequenz liegt am Eingang des Zählgerätes. Da die Frequenz f bekannt ist, kann man nach der Beziehung

$$T = \frac{1}{f} \tag{3.5}$$

die Schwingungsdauer T ermitteln. Prinzipiell ist für die Zeitmessung jede Schwingung mit konstanter Frequenz geeignet. Werden von der Schwingung (mit der Frequenz f) n Perioden gezählt, so errechnet man die Zeit t zu

$$t = n \cdot T = \frac{1}{f} \cdot n \tag{3.6}$$

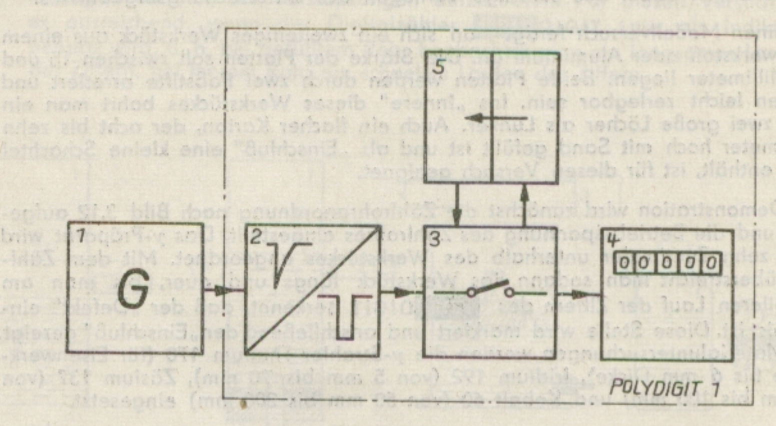


Bild 3.31 Blockschaltbild für die digitale Zeitmessung mit dem internen Zeitmarkengenerator

1 interner Zeitmarkengenerator, 2 Impulsformer,
3 Torschaltung, 4 Zähl-Anzeigeeinheiten,
5 äußere Torschaltung

Dieses Verfahren mit einer beliebigen Frequenz wird selten angewendet, da stets eine Umrechnung der Anzeige vorgenommen werden muß. Wählt man als Meßfrequenz 10^m Hz (m = ganze Zahl), kann man die Zeit direkt in Sekunden und dekadischen Teilen ablesen.

Als interne Meßfrequenz wird beim POLYDIGIT 1 die Frequenz des technischen Wechselstromes von 50 Hz genutzt, die durch eine einfache Zweiweg-Gleichrichtung auf 100 Hz verdoppelt wird. Die letzte Stelle des Zählers zeigt also die Hundertstelsekunden an!

Wird eine höhere Genauigkeit gefordert, so kann über den Zählereingang (1), Kontakt 1, jede Meßfrequenz bis 150 kHz bzw. beim erweiterten Zähler bis 1,5 MHz verwendet werden. Das Meßprinzip und die Bedienung des Gerätes ändern sich dadurch nicht.

Die eigentliche Messung wird durch Öffnen und Schließen der Torschaltung eingeleitet und beendet. Das Tor kann durch verschiedene Vorgänge betätigt werden:

(a) mit der Taste MESSEN, wenn keine äußere Beschaltung der Buchsen (1), (2) oder (3) erfolgt (manuelle Zeitmessung);

(b) durch das Anlegen einer Gleichspannung $\geq + 5$ V an die Buchsen (1) oder (2), Kontakt 4; im einfachsten Fall wird die Spannung von $+ 12$ V (Kontakt 2) verwendet (z. B. bei einer Fernbedienung des Gerätes);

(c) durch den Fallkörper oder die Stahlkugel mit dem mechanischen Torzeitschalter (Nr. 21 360);

(d) mit dem Auslösehebel des Wurfgerätes (Nr. 21 520);

(e) mittels eines Lichtempfängers als Teil einer Lichtschranke;

(f) durch einen bistabilen Multivibrator, der ebenfalls durch einen der genannten Vorgänge geschaltet werden kann.

Welcher Vorgang für die jeweilige Messung der geeignetste ist, wird bei dem betreffenden Experiment angegeben. Als Zubehör zum Digitalzähler POLYDIGIT 1 wird ein mechanischer Torzeitschalter Nr. 21 360 geliefert, der bei vielen Bewegungsvorgängen der Mechanik als Hilfsgerät für Kurzzeitmessungen eingesetzt werden kann. Der Anschluß dieses Schalters erfolgt über einen sechspoligen Spezialstecker, der in Buchse (3) eingeführt wird und damit betriebsbereit ist. Ein falscher Anschluß an den POLYDIGIT 1 ist nicht möglich.

Der Fallkörper, der von dem Magneten M gehalten wird, schließt gleichzeitig das Tor (Bild 3.32), wenn er an den beiden Kontakten A und B anliegt. Drückt man die Taste MESSEN, so wird der Stromkreis des Haltemagneten M unterbrochen und der Fallkörper freigegeben — das Tor wird aber erst geöffnet, wenn der Körper den Kontakt zwischen A und B unterbricht, d. h. daß ein längeres Haftenbleiben am Magneten M ohne Einfluß auf den Meßwert ist. Sobald das Tor geöffnet ist, gelangen die Zeitmarken zum Zähler. Öffnet der Fallkörper den unteren Schalter S, so wird der Transistor T 2 (der bisher durch die Spannung von $+ 12$ V, die über R 9 an der Basis anlag, leitend war) gesperrt, die Spannung zwischen Emitter und Kollektor erreicht ungefähr den Wert von $+ 12$ V, wodurch das Tor erneut gesperrt wird. Der Widerstand R 11 dient der Strombegrenzung.

Für Messungen, bei denen der Körper bereits einen Weg s_o zurückgelegt hat und die Zeit für die Strecke $(s - s_o)$ ermittelt werden soll, steht noch ein zweiter Schalter S' zur Verfügung, der parallel zu den Kontakten A und B geschaltet werden kann. Sind die beiden Schalter S und S' geschlossen, so durchfällt z. B. die Kugel nach der Betätigung der Taste MESSEN die Strecke s_o, startet beim Auftreffen auf S' den Zähler und stoppt ihn beim Öffnen des Schalters S, nachdem die Kugel die Strecke s gefallen ist. Aus der gemessenen Zeit $\triangle t$ und der Strecke $(s - s_o)$ läßt sich die Durchschnittsgeschwindigkeit usw. berechnen (s. auch Abschnitt 3.3.5).

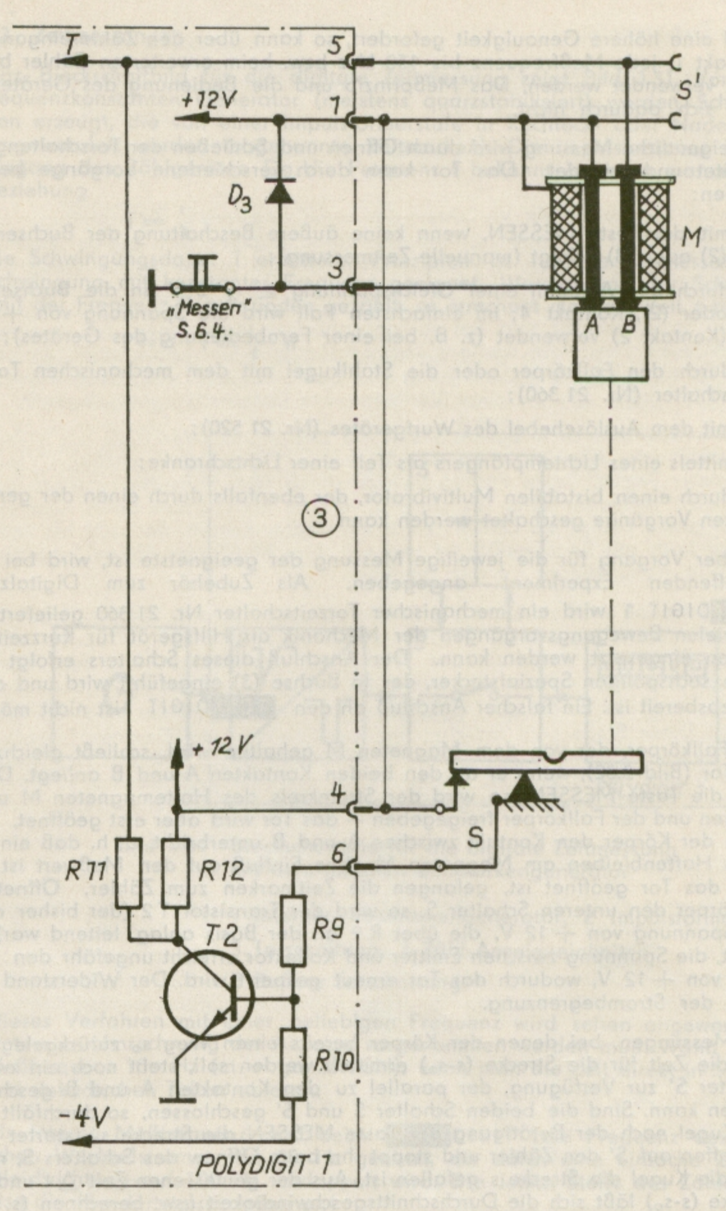


Bild 3.32 Schaltung zur Erklärung der Funktion des mechanischen Torzeitschalters

Bei Kurzzeitmessungen mit dem mechanischen Torzeitschalter müssen folgende Handlungen (Aktionen) in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden:

A 1 — Torzeitschalter in der benötigten Anordnung mit Stativmaterial aufbauen;

A 2 — Gerät durch Drücken der Taste EIN in Betrieb setzen;

A 3 — Stecker in Buchse (3) einführen, Komma der Zeitmeßfrequenz entsprechend mit Welle (6) an der Rückwand einschalten (Schraubenzieher o. ä. verwenden!);
Einheit „s" in das beleuchtete Einheitenfenster einsetzen;

A 4 — bei Verwendung der internen Meßfrequenz Taste „100 Hz" drücken, externe Zeitmarken werden über Buchse (1) dem Zähler zugeführt;

A 5 — Fallkörper, Kugel oder Wagen mit einer entsprechenden Vorrichtung an den Haltemagneten legen (Magnet zieht nur, wenn die Taste MESSEN gelöst ist);

A 6 — Schalter S (oder beide) schließen;

A 7 — Taste NULL des Zählers betätigen — Zähler muß dann „000,00 s" anzeigen;

A 8 — Taste MESSEN drücken — Vorgang wird damit gestartet;

A 9 — Meßergebnis ablesen — weitere Messungen nach A 5 bis A 9 durchführen.

Weitere Hinweise werden bei den betreffenden Experimenten gegeben. Alle im folgenden beschriebenen Versuche werden mit dem internen 100 Hz-Generator durchgeführt.

3.3.1 „Zentraluhr" — manuelle Zeitmessung

Gerät: POLYDIGIT 1
weitere Geräte je nach Versuch

Für den Experimentierunterricht, besonders bei Schülerexperimenten in gleicher Front zur Wärmelehre und Elektrizitätslehre, wird häufig eine Uhr benötigt, die für alle Schüler gut sichtbar ist. Durch die 30 Millimeter hohen Ziffern des POLYDIGIT 1 können auch die Schüler auf der letzten Bank die Ablesung bequem vornehmen.

Als Beispiel sei das Schülerexperiment „Aufnahme eines Temperatur-Zeit-Diagramms für die Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes" dargestellt: Zunächst werden die erforderlichen Vorbereitungen von allen Versuchsgruppen getroffen, wie Bereitstellen der Heizplatte mit einem Stativfuß, Einfüllen eines geeigneten Stoffes (z. B. Naphthalin) in das Becherglas, Auswahl eines Thermometers und eines Rührstabes. Der Lehrer hat inzwischen den Digitalzähler POLYDIGIT 1 eingeschaltet, die Programmtaste „100 Hz" gedrückt und auf NULL gestellt. Sind alle Vorbereitungen abgeschlossen, so werden auf Kommando des Lehrers alle Heizplatten an die Stromversorgung angeschlossen und gleichzeitig wird die „Zentraluhr" mit der Taste MESSEN gestartet.

Während des Versuches beobachtet ein Schüler der Versuchsgruppe die Uhr und gibt nach dem vorher festgelegten Intervall seinem Partner ein Zeichen, bei dem er jeweils die Temperatur abliest. Zeit und Temperatur werden in einer vorbereiteten Tabelle festgehalten, anschließend werden die Meßwertpaare in ein Koordinatensystem eingetragen und miteinander verbunden.

Bei diesem Experiment empfiehlt es sich, die Hundertstel- und Zehntelsekunden durch einen passenden Pappestreifen abzudecken, um die Schüler nicht abzulenken. Die vollen hundert Sekunden müssen bei vier Dekaden mitgezählt werden.

Die manuelle Zeitmessung ist auch bei langsamen Bewegungen möglich. Dies erfolgt durch das Betätigen der Taste MESSEN zur Zeit $t = 0$ bzw. $t = t_x$. Durch die Anzeige der Hundertstelsekunden streuen die Zeiten stark. Bessere Ergebnisse erhält man mit einer Fernbedienung nach Bild 2.9, die über einen Diodenstecker mit dem POLYDIGIT 1 verbunden wird.

Abschließend sei noch ein Hinweis zum Test des Reaktionsvermögens einer Versuchsperson gegeben: Bei einer vorher festgelegten Zeit soll die Uhr gestoppt werden. Nach der Einweisung am Gerät und der Erklärung der Versuchsaufgabe wird eine bestimmte Zeit aufgeschrieben und die Uhr gestartet. Die Versuchsperson muß nun die Uhr zur festgelegten Zeit anhalten. Regelmäßig läuft die Uhr ein bis zwei Zehntelsekunden über die vorgegebene Zeit hinaus. Dieses Experiment gibt anschaulich wieder, daß eine bestimmte Zeit erforderlich ist, ehe die Information, die unser Auge aufnimmt, über das Nervensystem zum Rückenmark gelangt und dort die betreffende Aktion auslöst. Führt man das Experiment mehrmals durch, ist ein Übungseffekt zu beobachten, der eine Verkürzung der persönlichen Reaktionszeit bewirkt (Übungskurve).

3.3.2 Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung

Geräte: POLYDIGIT 1

mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)

Bandförderer (Nr. 21 310)

Experimentiermotor EM 03 o. ä.

Lichtempfänger 1 nach Bild 3.5 (a)
Optikleuchte

Blende, 10 cm breit

Stativmaterial

(a) Zur Herleitung des Weg-Zeit-Gesetzes der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung stellt man sich aus Schiene und Stativmaterial eine geneigte Ebene zusammen, auf der mit dem Experimentiermotor der Schienenwagen gleichförmig auf und ab bewegt wird. Der Faden ist am Wagen befestigt und wird auf einen kurzen Stativstab (mit Loch) vom Motor gewickelt. Beim Aufwickeln muß Windung neben Windung liegen, anderenfalls läuft der Wagen ungleichmäßig.

Im Vorversuch stellt man die gewünschte Geschwindigkeit mit dem Drehzahlregler ein. Danach wird nur noch mit dem Netz- und Umschalter (Drehrichtung) gearbeitet. Mit dem Universal-Experimentiermotor EM 03 und einem 13-mm-Stativstab läßt sich eine Geschwindigkeit von 3 $\frac{cm}{s}$ bis 15 $\frac{cm}{s}$ im niedrigsten Bereich der Drehzahlen einstellen.

Zur Herleitung des Gesetzes werden die Schalter (Startschalter S', parallel zum Haltemagneten) an der Bahn so aufgestellt, daß der Wagen sie beim Vorbeifahren öffnet. Der Startschalter S' sollte immer am selben Platz stehen bleiben, während der zweite Schalter S in 20, 40, 60 ... Zentimeter Entfernung dazu aufgestellt wird. Die Taste MESSEN bleibt bei allen Messungen gedrückt. Nur die Rückstellung ist am Gerät vorzunehmen. Die beschriebene Fernbedienung läßt sich vorteilhaft dafür einsetzen. Die Meßwerte werden in eine Tabelle eingetragen und anschließend graphisch dargestellt (Tabelle 3.5; Bild 3.33).

Um den Betätigungsgrad der Aussage s ~ t zu erhöhen, sollten noch ein oder zwei weitere Meßreihen mit anderen Geschwindigkeiten aufgenommen werden.

Tabelle 3.5: Meßreihe zum Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung

$\frac{s}{cm}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{t}$ in $\frac{cm}{s}$
20	4,45	4,49
40	8,89	4,50
60	13,35	4,49
80	17,69	4,52
100	22,23	4,49

(b) Die Herleitung des Weg-Zeit-Gesetzes der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung kann auch mit dem Bandförderer erfolgen, Die Schalter werden wie oben beschrieben angeordnet. Die Schalter löst ein Klotz aus, der auf das Förderband gelegt wird. Die erforderliche Kraft zum Öffnen der Schalter stellt man mit der Stellschraube 3 (Bild 3.34) im Vorversuch so ein, daß der Klotz sich dabei nicht verschiebt. Die Durchführung und Auswertung des Experimentes nimmt man wie bei (a) vor.

s/cm
100
80
60
40
20
0
5
10
15
20
t/s
s ~ t
v = konst.

Bild 3.33 Graphische Darstellung zum Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung

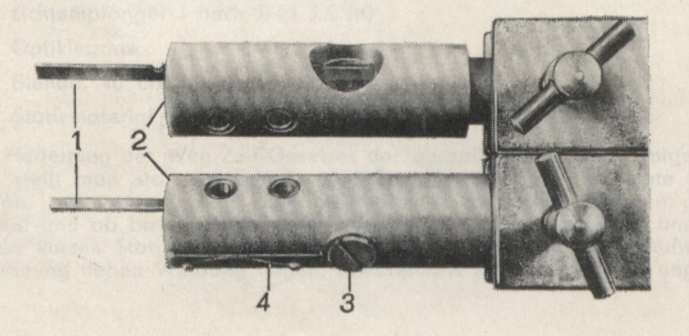


Bild 3.34 Schalter für Kurzzeitmessungen
1 Kipphebel mit Kerbe, 2 Grundkörper mit Buchsen, 3 Schraube zur Einstellung der Haltekraft, 4 Bremse

(c) Mit dem Lichtempfänger nach Bild 3.5 (a) kann man die beschriebenen Versuche (a) und (b) variieren: Mit dem Lichtempfänger und einer Optikleuchte stellt man eine Lichtschranke zusammen. Auf dem Wagen oder dem Transportband befestigt man eine Blende von zehn Zentimeter Breite. Der Lichtempfänger steuert das Tor (Anschluß A); solange Licht auf den Empfänger fällt, ist das Tor geschlossen. Unterbricht die Blende den Lichtstrom, so wird das Tor geöffnet und es gelangen die Zeitmarken zum Zähler. Aus der zurückgelegten Strecke (= Breite der Blende) und der gemessenen Zeit kann die Geschwindigkeit errechnet werden. Es läßt sich zeigen, daß bei der gleichförmigen Bewegung eines Körpers in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückgelegt werden.

3.3.3 Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Geräte: POLYDIGIT 1

mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)

Wagen und Schiene (Nr. 21 314)

andere Geräte für die beschleunigte Bewegung

Die Herleitung des Weg-Zeit-Gesetzes der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung kann mit verschiedenen Versuchsanordnungen erfolgen, bei allen stellt aber die Zeitmessung das zentrale Problem dar. Mit dem POLYDIGIT **1** wird eine ausreichende Genauigkeit bei der Zeitmessung erzielt. Folgende Versuchsanordnungen können zur Herleitung des Gesetzes benutzt werden (selbsttätige Zeitmessung):

(a) Schiene als geneigte Ebene und Wagen;

(b) geneigte Ebene mit Laufrinne und großer Kugel;

(c) Atwoodsche Fallmaschine und deren Prinzip;

(d) Reifenapparat (Nr. 21 410);

(e) Maxwellsches Rad;

(f) Kreisel auf geneigter Rollbahn (Walzenbahn);

(g) Schwebebahn aus Stativmaterial;

(h) geneigte Luftkissenfahrbahn mit -schlitten.

Von diesen experimentellen Varianten kann im Rahmen dieser Versuchsanleitung nur eine erläutert werden; alle anderen sind analog durchzuführen.

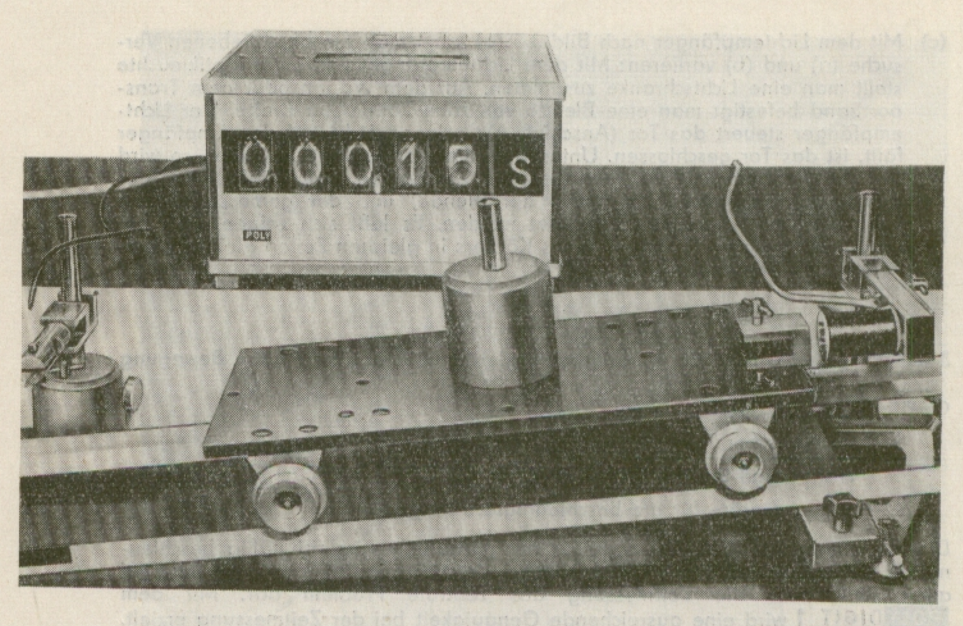


Bild 3.35 Versuchsaufbau zur geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Die Schiene wird mit einigen Holzklötzchen leicht angehoben. Am Wagen befestigt man eine kurze Drehklemme, die zum Halten am Magneten dient. Den Haltemagnet stellt man nach Bild 3.35 zwischen die Schienen. Der Stoppschalter soll von der Vorderkante des Wagens ausgelöst werden; er wird so aufgestellt, daß die Zeiten für die Wege von 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm . . . ermittelt werden können (der Magnet bleibt immer am selben Ort). Die Messungen werden nach A 2 bis A 9 durchgeführt.

Tabelle 3.6: Meßreihe zum Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung

$\frac{s}{cm}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{t^2}{s^2}$	$\frac{2s}{t^2}$ in $\frac{cm}{s^2}$
10	1,08	1,16	17,2
20	1,52	2,31	17,3
40	2,16	4,67	17,1
60	2,65	7,02	17,1
80	3,05	9,30	17,2
100	3,41	11,63	17,2

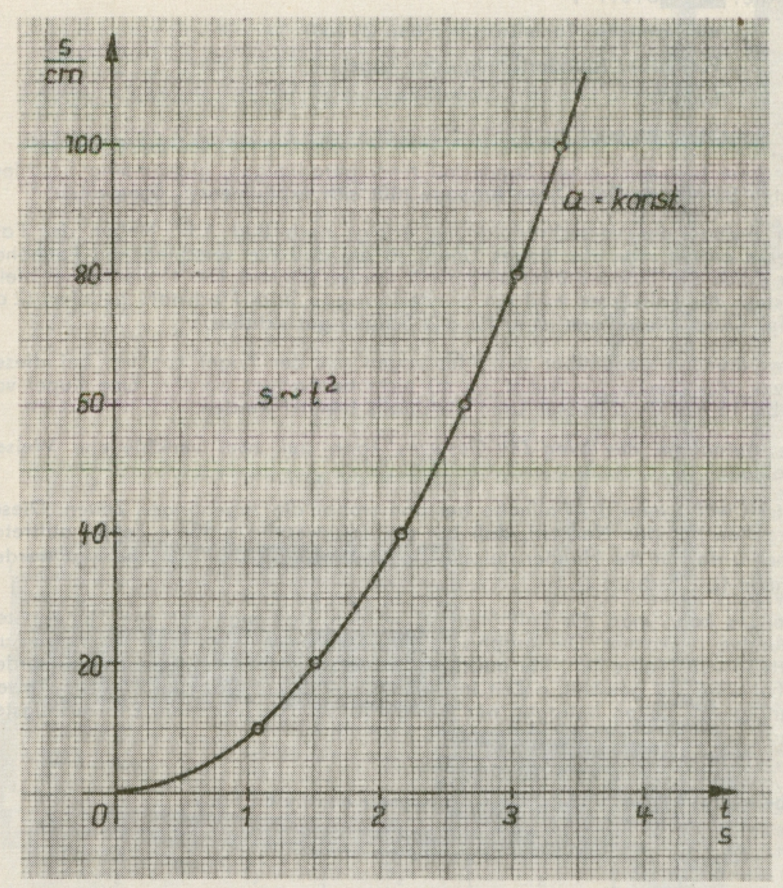


Bild 3.36 Weg-Zeit-Diagramm zur geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Die Auswertung führt man in gleicher Weise wie in Tabelle 3.6 und Bild 3.36 angegeben durch. Auch bei der Gesetzesaussage $s \sim t^2$ sollte man noch ein oder zwei Meßreihen durchführen und die Werte in dasselbe Koordinaten-

system eintragen. Die Beschleunigung des Wagens verändert man durch die Neigung der Schiene oder die unterschiedliche Masse des Wagens.

Bei der Herleitung des Weg-Zeit-Gesetzes ist es ratsam, den Start immer mit dem Haltemagneten auszuführen; nur so sind genaue Zeitmessungen möglich. Der Haltemagnet kann bei allen Versuchsanordnungen, die unter (a) bis (g) genannt wurden, eingesetzt werden. Der Schalter wird mit der Stellschraube 3 (s. Bild 3.34) so eingestellt, daß die Bewegung des Körpers beim Öffnen nicht behindert wird.

3.3.4 Der freie Fall – Bestimmung der Erdbeschleunigung

Geräte: POLYDIGIT 1

mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)

Fallkörper (quaderförmig oder Kugel)

Lineal

Stativmaterial

Der freie Fall stellt einen Sonderfall einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung dar. Diese Aussage läßt sich experimentell überprüfen.

Der Aufbau der Versuchsanordnung erfolgt nach Bild 3.37. Neben der Fallstrecke ordnet man ein langes Lineal so an, daß die verschiedenen Fallhöhen nur durch den Stoppschalter eingestellt werden können. Der Haltemagnet bleibt ortsfest. Als Fallkörper wird ein quaderförmiges Stück Flachstahl geliefert (2 cm lang). Durch diese Form ist er für alle Schüler gut sichtbar.

Abweichungen gegenüber den Messungen mit der Kugel konnten bei diesen kurzen Meßstrecken (maximal 1,5 m) nicht beobachtet werden. Eine Kugel von 10 bis 15 mm Durchmesser kann gleichfalls benutzt werden.

Die Aufnahme des Weg-Zeit-Gesetzes kann auf zwei verschiedene Weisen erfolgen:

Erstens wählt man die Fallhöhe frei und stoppt die zugehörigen Zeiten. Dieses Vorgehen hat den Nachteil, daß bei der Zeitmessung größere Fehler auftreten können, da nur die Hundertstelsekunden vom POLYDIGIT 1 angezeigt werden können (s. Abschnitt 1).

Zweitens kann man die Fallhöhen so wählen, daß man mit den Hundertstelsekunden auskommt. Die graphische Darstellung von Bild 3.38 zeigt die Auswertung von Meßreihen, die nach den beiden Verfahren aufgenommen wurden (x Fallhöhe frei gewählt, o Zeit frei gewählt – s. auch Tabelle 3.7). Die Abweichungen der Zeiten betragen nur wenige Tausendstelsekunden. Die günstigsten Wege sind in Tabelle 3.7 angegeben.

Tabelle 3.7: Meßreihe zum Weg-Zeit-Gesetz des freien Falls

$\frac{h}{m}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{t^2}{s^2}$	$\frac{h}{t^2}$ in $\frac{m}{s^2}$
0,049	0,10	0,01	4,90
0,196	0,20	0,04	4,90
0,441	0,30	0,09	4,90
0,784	0,40	0,16	4,91
1,226	0,50	0,25	4,90

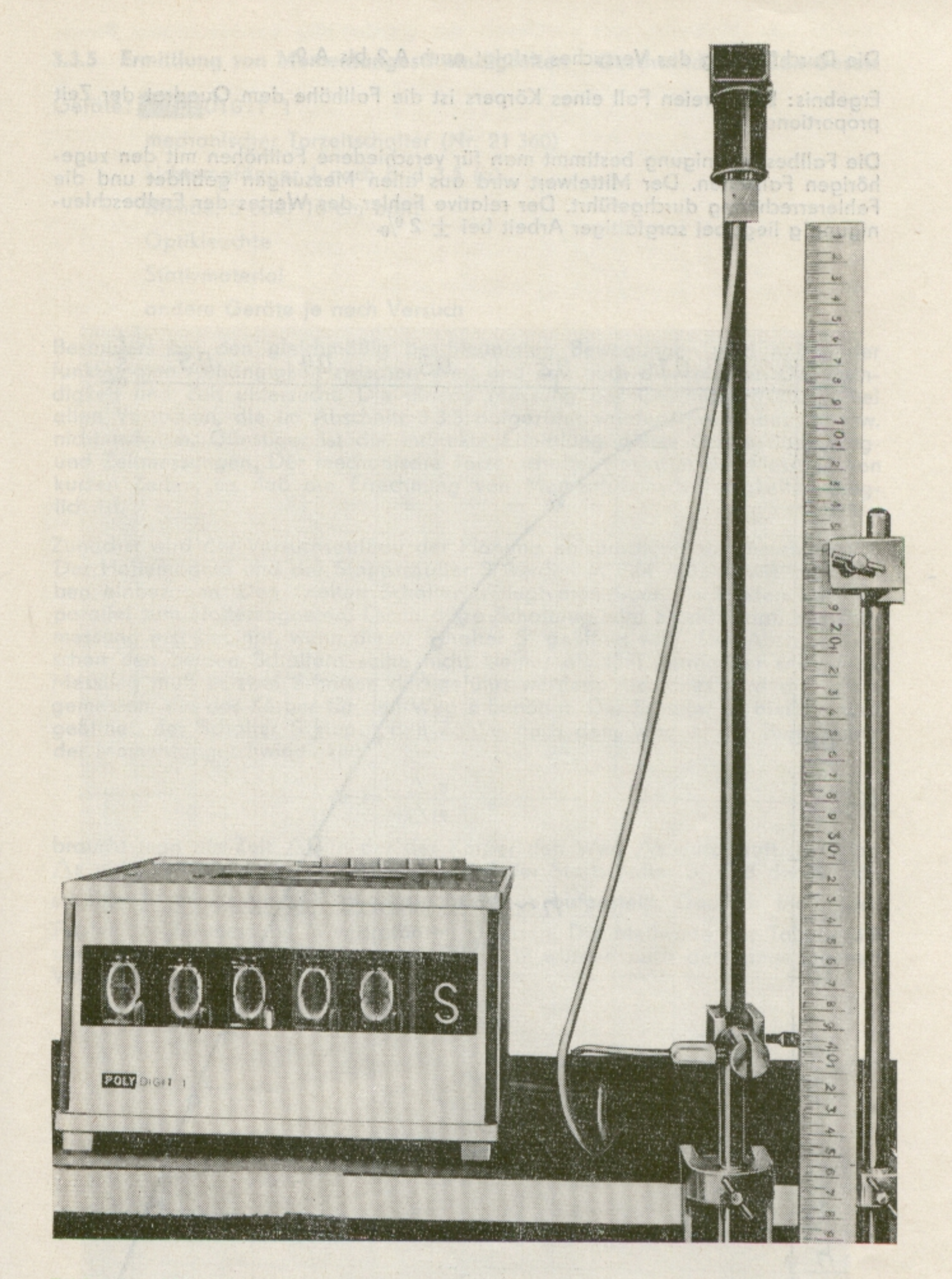


Bild 3.37 Versuchsanordnung zur Aufnahme des Weg-Zeit-Gesetzes beim freien Fall

Die Durchführung des Versuches erfolgt nach A 2 bis A 9.

Ergebnis: Beim freien Fall eines Körpers ist die Fallhöhe dem Quadrat der Zeit proportional.

Die Fallbeschleunigung bestimmt man für verschiedene Fallhöhen mit den zugehörigen Fallzeiten. Der Mittelwert wird aus allen Messungen gebildet und die Fehlererrechnung durchgeführt. Der relative Fehler des Wertes der Endbeschleunigung g liegt bei sorgfältiger Arbeit bei ± 2 %.

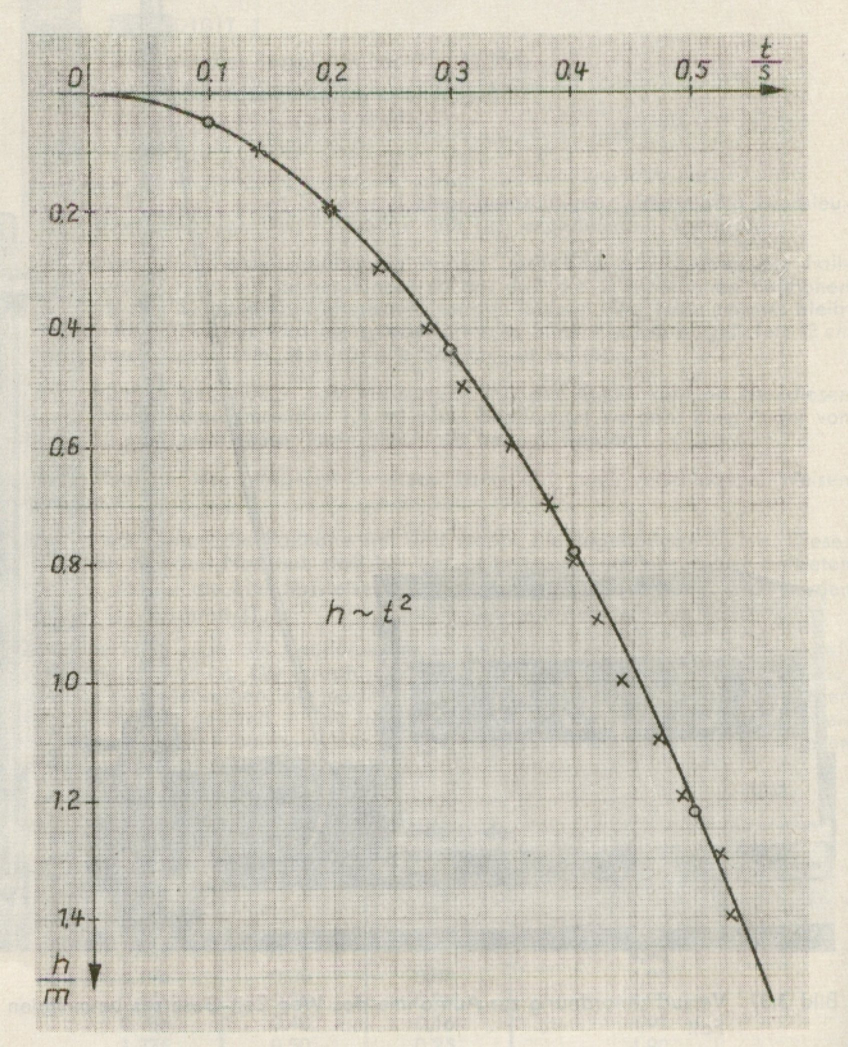


Bild 3.38 Weg-Zeit-Diagramm des freien Falls

3.3.5 Ermittlung von Momentangeschwindigkeiten – Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz

Geräte: POLYDIGIT 1
mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)
Lichtempfänger 1 nach Bild 3.5 (a)
Blende, 5 oder 10 cm breit
Optikleuchte
Stativmaterial
andere Geräte je nach Versuch

Besonders bei den gleichmäßig beschleunigten Bewegungen wird neben der funktionalen Abhängigkeit zwischen Weg und Zeit auch die zwischen Geschwindigkeit und Zeit untersucht. Die direkte Messung der Geschwindigkeit ist bei allen Versuchen, die im Abschnitt 3.3.3 aufgezählt wurden, problematisch bzw. nicht möglich. Günstiger ist die indirekte Ermittlung dieser Größe über Weg- und Zeitmessungen. Der mechanische Torzeitschalter gestattet die Messung von kurzen Zeiten, so daß die Errechnung von Momentangeschwindigkeiten möglich ist.

Zunächst wird der Versuchsaufbau der Planung entsprechend zusammengestellt. Der Haltemagnet und der Stoppschalter S werden in den Aufbau wie beschrieben einbezogen. Den zweiten Schalter S′ legt man über die beiden Buchsen parallel zum Haltemagneten. Durch diese Schaltung wird erreicht, daß die Zeitmessung erst beginnt, wenn dieser Schalter S′ geöffnet wird. Der Abstand zwischen den beiden Schaltern sollte nicht kleiner als fünf Zentimeter sein. Jede Messung muß in zwei Schritten duchgeführt werden: Als erstes wird die Zeit t gemessen, die der Körper für den Weg s benötigt. Der Schalter S′ bleibt dabei geöffnet, der Schalter S stoppt den Zähler nach dem Weg s. Zur Berechnung der Momentangeschwindigkeit

$$v = \frac{\triangle s}{\triangle t} \tag{3.7}$$

braucht man die Zeit $\triangle t$, in der der Körper den Weg $\triangle s$ durchläuft. Da man $\triangle s$ nicht beliebig klein wählen kann, wird der Startschalter S′ und der Stoppschalter S jeweils um $\frac{\triangle s}{2}$ gegensinnig von s aufgestellt. Dadurch bleibt der Fehler der Zeitmessung in vertretbaren Grenzen. Die Meßwerte der Tabelle 3.8 und die graphische Darstellung von Bild 3.39 wurden nach dem angegebenen Verfahren ermittelt.

Tabelle 3.8: **Meßreihe zum v-t-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung** (s. auch Tab. 3.6)

$\frac{s}{cm}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{\Delta s}{cm}$	$\frac{\Delta t}{s}$	$\frac{v}{cm\ s^{-1}}$
10	1,08	10	0,60	16,7
20	1,52	10	0,41	25,0
40	2,16	10	0,27	37,1
60	2,65	10	0,22	45,5
80	3,05	10	0,19	52,6
100	3,41	10	0,17	58,9

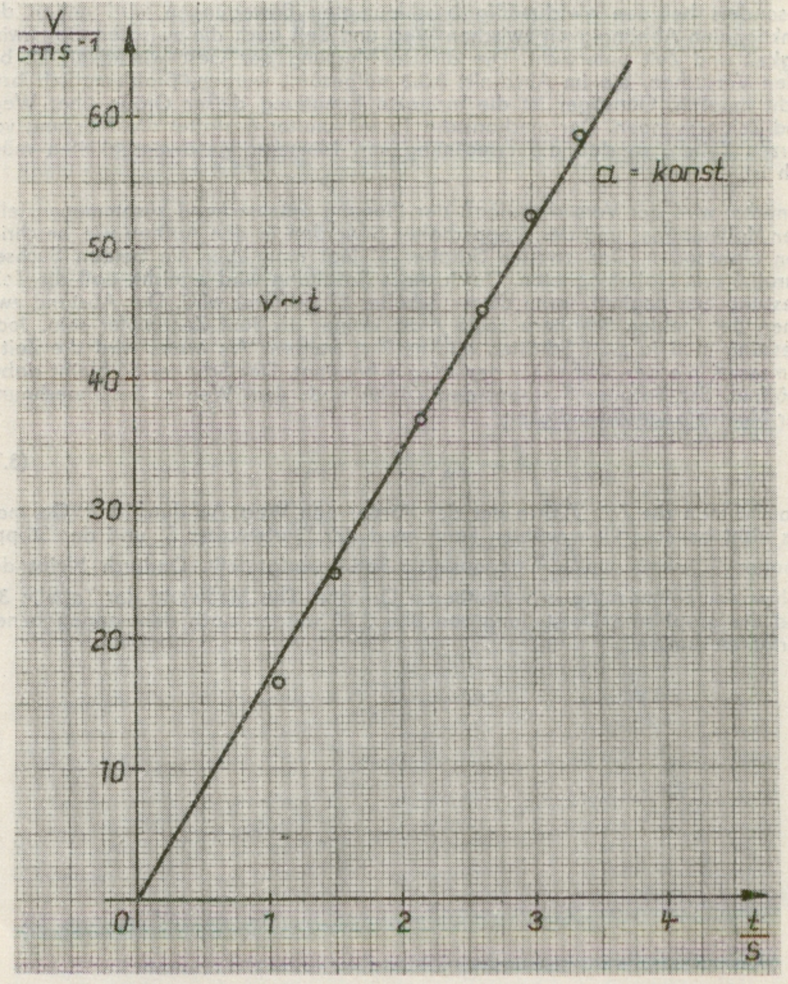


Bild 3.39 Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Wesentlich eleganter läßt sich die Zeitmessung photoelektrisch mit einer Lichtschranke durchführen. Die Lichtschranke wird mit dem Lichtempfänger 1 (Anschluß 4 von Buchse (1) oder (2) nach Bild 3.5 (a) und einer Optikleuchte aufgebaut. Diese Lichtschranke stellt man genau nach dem Weg s auf. Unterbricht man die Schranke (Taste MESSEN und "100 Hz" gedrückt), so gelangen die Zeitmarken auf den Zähler. Die Unterbrechung wählt man als Weg $\triangle s$; im einfachsten Fall ist es der Körper selbst (z. B. Durchmesser der Kugel) oder man setzt eine Blende auf den ablaufenden Körper, wie es im Bild 3.40 zu sehen ist. Die Breite der Blende ist gleich dem zurückgelegten Weg $\triangle s$.

Für den freien Fall ist dieses Verfahren nur bedingt geeignet, da nur Hundertstelsekunden zur Verfügung stehen.

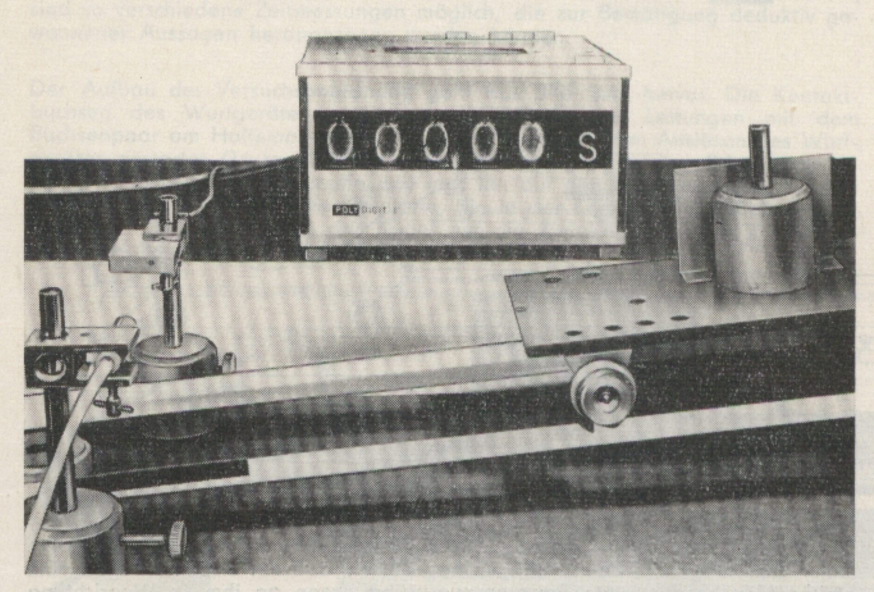


Bild 3.40 Kurzzeitmessung mit Lichtempfänger zur Ermittlung der Momentangeschwindigkeit

3.3.6 Dynamisches Grundgesetz

Geräte: POLYDIGIT 1

- mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)
- Wagen und Schiene (Nr. 21 314)
- Hakenkörper (1 Satz)
- Stativmaterial
- Federkraftmesser
- Wasserwaage

Zur Herleitung des dynamischen Grundgesetzes ist der Schienenwagen besonders geeignet, da alle beteiligen Massen nur Translationsbewegungen ausführen (Umlenkrollen werden nicht berücksichtigt). Ebenso ist die große Masse des Wagens vorteilhaft.

Die Schiene wird mit den Stellschrauben und mit Hilfe einer Wasserwaage genau waagerecht ausgerichtet. Einen dünnen Faden legt man nach Bild 3.41 über die Umlenkrollen; mit einem kleinen Gewicht kompensiert man die Reibungskraft (muß für jede andere Masse des Wagens erneut erfolgen). Der Satz Hakenkörper sollte ebenfalls auf dem Wagen Platz finden. Die Masse des Wagens wird durch Tonnenfüße vergrößert.

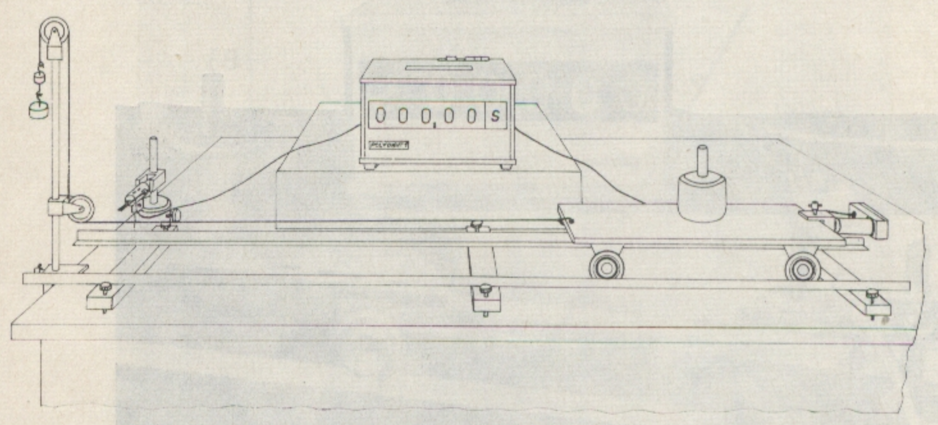


Bild 3.41 Versuchsanordnung zum dynamischen Grundgesetz

Die Durchführung des Versuches sollte in zwei Schritten erfolgen. Erstens sollte man durch Weg- und Zeitmessungen nachweisen, daß der Schienenwagen eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ausführt, wenn an ihm in Wegrichtung eine konstante Kraft angreift (Nachweis erfolgt nach Abschnitt 3.3.3). Zweitens untersucht man den Zusammenhang zwischen angreifender Kraft F und Beschleunigung a bei konstanter Masse. Die Beschleunigung wird indirekt aus Weg- und Zeitmessungen mit der Gleichung

$$a = \frac{2\,s}{t^2} \tag{3.8}$$

ermittelt. Den Weg wählt man zweckmäßig 0,5 oder 1 Meter. Die Masse des Wagens sollte nicht zu klein sein.

Der Start erfolgt immer mit dem Haltemagneten des mechanischen Torzeitschalters nach den Handlungen A 1 bis A 9.

3.3.7 Kurzzeitmessungen bei Wurfbewegungen

Geräte: POLYDIGIT 1
mechanischer Torzeitschalter (Nr. 21 360)
Wurfgerät (Nr. 21 520) mit Stahlkugel, ⌀ 10 mm
Stativmaterial
Verbindungsschnüre

Das Wurfgerät Nr. 21 520 ist mit einem elektrischen Kontakt ausgerüstet, der beim Abschuß der Kugel geöffnet wird. In Verbindung mit dem POLYDIGIT 1 sind so verschiedene Zeitmessungen möglich, die zur Bestätigung deduktiv gewonnener Aussagen herangezogen werden können.

Der Aufbau der Versuchsanordnung geht aus Bild 3.42 hervor. Die Kontaktbuchsen des Wurfgerätes verbindet man durch zwei Leitungen mit dem Buchsenpaar am Haltemagneten. Der Zähler wird so beim Auslösen des Wurfgerätes gestartet (Taste MESSEN bleibt stets gedrückt!). Den Schalter S befestigt man in einer Kreuzmuffe und legt ihn auf den Experimentiertisch. Die Auftrefffläche wird durch die Zielplatte, die in der Kerbe des Kipphebels liegt, vergrößert. Beim Auftreffen der Kugel auf die Zielplatte wird der Zähler gestoppt (Haltekraft im Vorversuch richtig einstellen!).

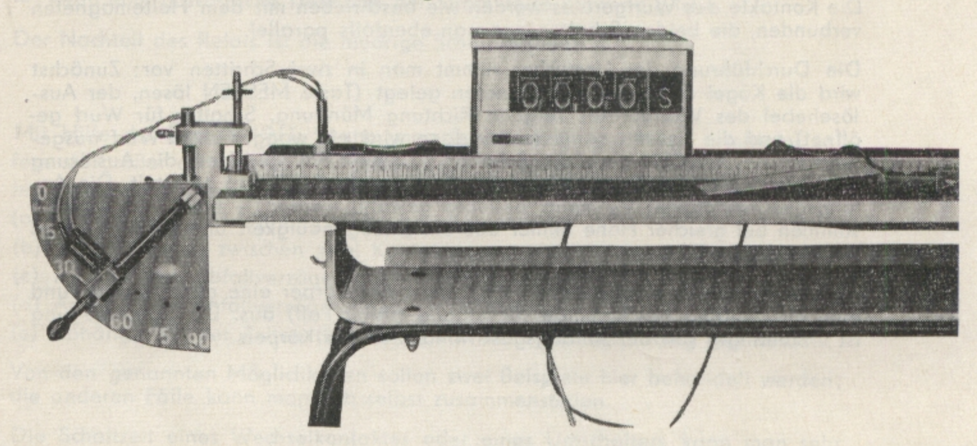


Bild 3.42 Versuchsanordnung zur Messung der Wurfzeit beim schrägen Wurf

Die Wurfzeit beim schrägen Wurf, bei dem Abschuß- und Auftreffpunkt auf einer waagerechten Ebene liegen, wird nach der Gleichung

$$t_w = \frac{2v_o}{g} \sin \alpha \qquad (3.9)$$

errechnet. Die Tabelle gibt einige Beispiele zum Vergleich zwischen experimenteller und theoretischer Wurfzeit an. Die experimentell ermittelten Zeiten weichen von den theoretischen ab, da die Geschosse durch den Luftwiderstand offensichtlich langsamer werden.

Tabelle 3.9: Meßwerte zum schrägen Wurf

	α	$\frac{x_w}{m}$	$\frac{t_w}{s}$ (exp.)	$\frac{t_w}{s}$ (theor.)
	15°	0,30	0,13	0,132
$v_o = 2{,}5\ \frac{m}{s}$	30°	0,54	0,25	0,255
	45°	0,65	0,38	0,360
$\hat{=}$ Spannstufe 2	60°	0,52	0,46	0,440
	75°	0,31	0,52	0,492

Mit der gleichen Versuchsanordnung lassen sich auch die Anfangsgeschwindigkeiten v_o des Wurfgerätes bei verschiedenen Federspannungen nach Gleichung (3.9) bestimmen. Um einen sicheren Wert für v_o zu erhalten, sind jeweils mehrere Messungen durchzuführen.

Der Nachweis der Unabhängigkeit der Bewegung kann ebenfalls mit dem Wurfgerät in Verbindung mit dem mechanischen Torzeitschalter geführt werden. Mit dem Haltemagneten und einem Stoppschalter wird eine Fallstrecke nach Abschnitt 3.3.4 aufgebaut; die Fallhöhe sollte 44 cm betragen. Den Schalter bringt man auf das Niveau der Zielplatte. Das Wurfgerät wird so angeordnet, daß die Kugel aus der gleichen Höhe die Bewegung beginnt.

Die Kontakte des Wurfgerätes werden wie beschrieben mit dem Haltemagneten verbunden, die beiden Schalter legt man ebenfalls parallel.

Die Durchführung des Versuches nimmt man in zwei Schritten vor: Zunächst wird die Kugel an den Haltemagneten gelegt (Taste MESSEN lösen, der Auslösehebel des Wurfgerätes zeigt in Richtung Mündung, Schalter für Wurf geöffnet) und die Fallzeit gemessen. Sodann wird ein waagerechter Wurf ausgeführt (Taste MESSEN gedrückt, Schalter für freien Fall geöffnet; die Auslösung erfolgt am Wurfgerät) und ebenfalls die Flugzeit der Kugel ermittelt. Die Anfangsgeschwindigkeit v_o kann beliebig gewählt werden — Fall- und Flugzeit stimmen bei gleicher Höhe immer überein (Meßgenauigkeit und Luftwiderstand berücksichtigen!).

Auswertung: Beim waagerechten Wurf führt der Körper eine gleichförmige und eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung (freier Fall) aus. Die Fallbewegung ist unabhängig von der Anfangsgeschwindigkeit des Körpers.

3.3.3 Messung von Schaltzeiten am Relais

Geräte: POLYDIGIT 1

mechanischer Torzeitschalter oder

Adapter nach Bild 2.10

verschiedene Relais

Stromversorgungsgerät für Niederspannungen

Widerstand 10 kΩ

verschiedene Kondensatoren

Verbindungsleitungen

Potentiometer 50 Ω

Taster

Obwohl Transistoren in immer stärkerem Maße als Schalter eingesetzt werden, haben auch Relais in den verschiedensten Ausführungen noch immer große technische Bedeutung vor allem,

— wenn mehrere Stromkreise gleichzeitig geschaltet werden müssen,
— wenn größere Leistungen erforderlich sind,
— wenn große Verstärkungen erzielt werden sollen,
— wenn eine galvanische Trennung der Stromkreise notwendig ist.

Der Nachteil des Relais ist die niedrige Schaltfrequenz.

Mit Hilfe des POLYDIGIT 1 kann man Schaltzeiten von Relais ermitteln, sofern sie größer als eine Hundertstelsekunde sind.
Im einzelnen können gemessen werden:
(a) Schließungs- und Öffnungszeiten von Kontakten;
(b) Umschaltzeiten zwischen zwei Kontakten;
(c) Anzugs- und Abfallverzögerungen von Arbeitskontakten;
(d) Anzugs- und Abfallverzögerungen von Ruhekontakten;
(e) Abhängigkeit der Zeiten (b) bis (d) von der Arbeitsspannung des Relais.

Von den genannten Möglichkeiten sollen zwei Beispiele hier behandelt werden; die anderen Fälle kann man sich selbst zusammenstellen.

Die Schaltzeit eines Wechselkontaktes oder eines Umschalters kann man sehr einfach nach Bild 3.43 bestimmen. Es wird die Zeit vom Öffnen des Schalters S_1 bis zum Schließen des Schalters S_2 gemessen.

Die Schaltung wird nach dem Bild 3.43 aufgebaut, die Taste MESSEN bleibt gedrückt. Nach der Rückstellung des Zählers betätigt man den Umschaltkontakt, wodurch eine kurze Zeitspanne das Tor geöffnet wird. Die Messung sollte mindestens zehnmal durchgeführt werden – der POLYDIGIT 1 addiert alle Meßwerte. Bei Relaiskontakten kann man die Umschaltzeit in Abhängigkeit von der Erregerspannung graphisch darstellen (s. auch Bild 3.45).

Die Anzugsverzögerung eines Relais-Arbeitskontaktes kann man mit der Schaltung nach Bild 3.44 bestimmen; es wird die Zeit zwischen dem Schließen der Taste T (Anlegen der Spannung an die Relaiswicklung) und dem Schließen des Relaiskontaktes S gemessen.

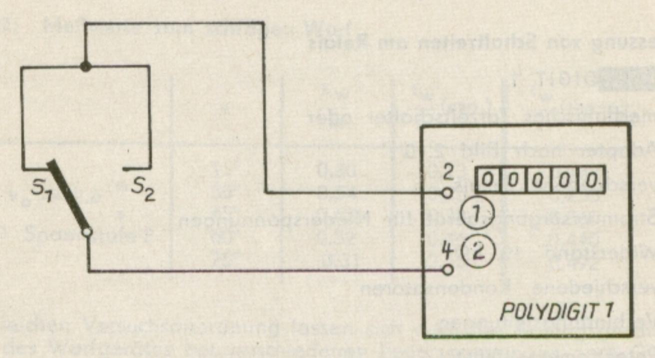


Bild 3.43 Schaltung zur Messung der Umschaltzeit von zwei Kontakten

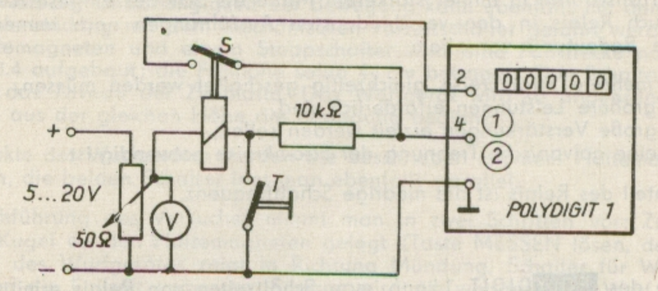


Bild 3.44 Schaltung zur Messung der Anzugsverzögerung von Relais-Arbeitskontakten

Mit dem Potentiometer von 50 Ω kann man die Erregerspannung im angegebenen Bereich (Relaisdaten beachten!) variieren. Der 10-kΩ-Widerstand muß in jedem Fall (auch bei ähnlichen Schaltungen) vorgesehen werden, da er einen Kurzschluß der internen Gleichspannung von + 12 V verhindert. Das Bild 3.45 zeigt den Einfluß der Erregerspannung eines Relais auf die Anzugsverzögerung.

Die Anzugs- und Abfallverzögerung der Relais kann durch die üblichen Maßnahmen vergrößert werden. Die angegebenen Schaltungen ändern sich dadurch nicht.

Falls der Adapter nicht zur Verfügung steht, können auch die Anschlüsse des mechanischen Torzeitschalters benutzt werden.

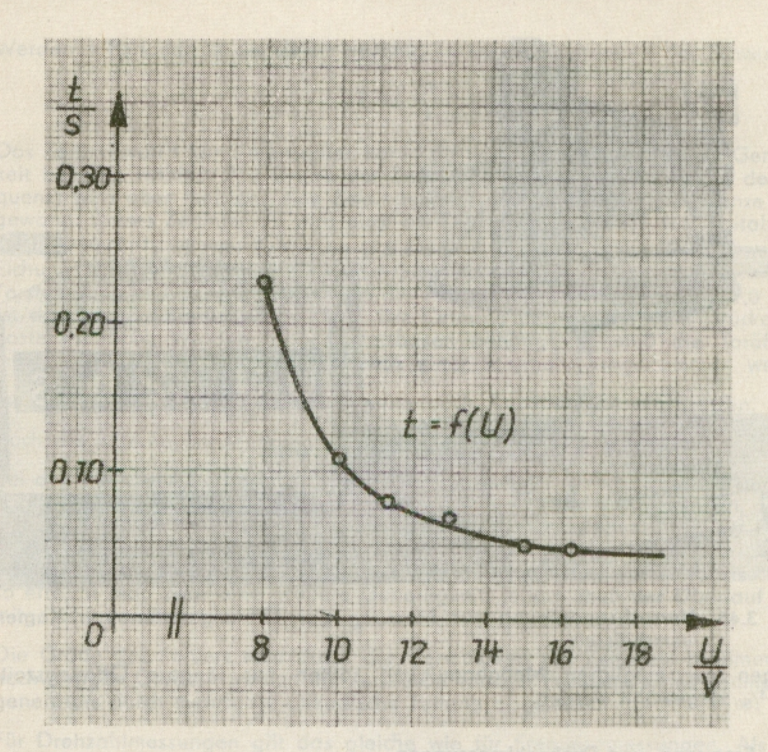


Bild 3.45 Anzugsverzögerung in Abhängigkeit von der Erregerspannung für ein großes Rundrelais

3.3.9 Messung der Öffnungszeiten von Kameraverschlüssen

Geräte: POLYDIGIT 1

Lichtempfänger 2 nach Bild 3.5 (b)

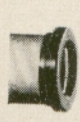
Optikleuchte

Kamera oder Kameraverschluß

Stativmaterial

Die Messung der Öffnungszeiten von Kameraverschlüssen soll als Beispiel für die Messung der Zeitdauer beliebiger Lichtimpulse gelten.

Das Bild 3.46 zeigt den Versuchsaufbau; man beachte, daß der Ausgang des Lichtempfängers 2 am Tor (Kontakt 4) liegen muß. Zum Justieren der Lichtschranke wird der Verschluß geöffnet. Fällt Licht auf die Photodiode, so wird das Tor freigegeben (Taste MESSEN bleibt immer gedrückt). Zur Auslösung des Verschlusses benutzt man zweckmäßig einen Drahtauslöser. Die Öffnungszeit sollte zehnmal gemessen werden. Die Meßwerte werden vom POLYDIGIT 1 addiert.



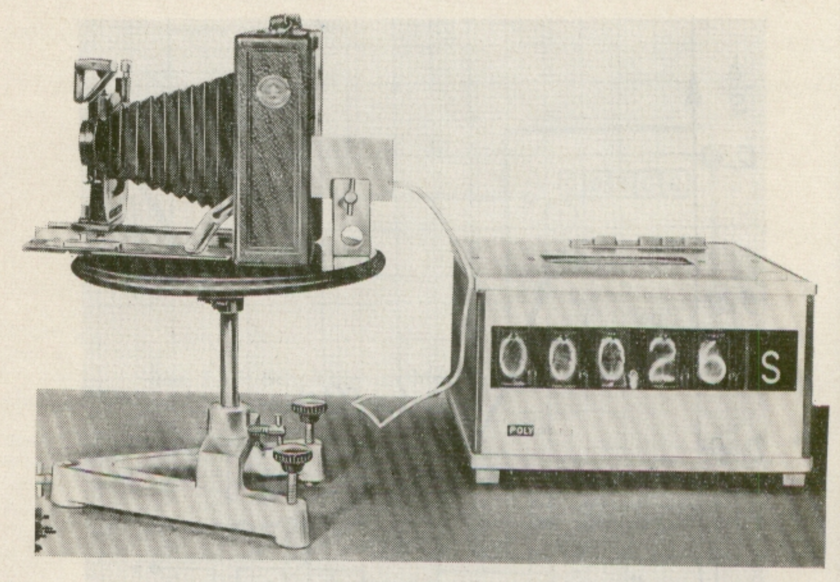


Bild 3.46 Versuchsanordnung zur Messung der Öffnungszeiten von Kameraverschlüssen

Wegen der möglichen Meßgenauigkeit sollten nur längere Öffnungszeiten ($> 1/_{60}$ s) gewählt werden.

3.4 Frequenz- und Drehzahlmessungen

Ein wesentlicher Vorteil der digitalen Frequenzmessung ist die große Genauigkeit, die erreicht werden kann.

Das Grundprinzip der digitalen Frequenzmessung beruht auf der Zählung der Perioden einer Schwingung in einem bestimmten Zeitintervall. Das Bild 3.47 zeigt das Blockschaltbild für die digitale Frequenz- und Drehzahlmessung.

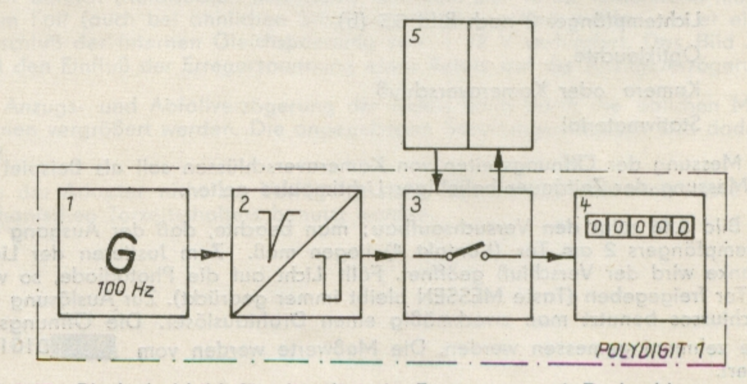


Bild 3.47 Blockschaltbild für die digitale Frequenz- und Drehzahlmessung
1 Wandler und Aufnehmer, 2 Impulsformer, 3 Torschaltung, 4 Zähl- und Anzeigeeinheiten, 5 Zeitbasis (auch manuell)

Werden n Perioden in der Zeit t gezählt, so ist die Frequenz f der Schwingung

$$f = \frac{n}{t} \tag{3.10}$$

Das Zeitintervall t kann man unter Berücksichtigung der erforderlichen Genauigkeit beliebig wählen. Auf Grund der Zweckmäßigkeit (direkte Anzeige der Frequenz) wird aber meistens eine Sekunde oder das 10^mfache (m = ganze Zahl) gewählt. Dieses Zeitintervall wird auch als Zeitbasis bezeichnet. Im Digitalzähler POLYDIGIT 1 sind zwei Zeitbasen (1,0 s und 0,1 s) vorgesehen. Die notwendige Eichung wird im Abschnitt 2.3. beschrieben. Die interne Zeitbasis ist mit der Torsteuerung verbunden. Drückt man die Programmtaste "0,1 s" oder "1,0 s", so ist das Tor nur diese Zeit geöffnet. Die Öffnung beginnt mit dem Drücken der Taste MESSEN. Werden längere Zeitbasen benötigt, so muß die Toröffnung manuell mit der Taste MESSEN nach einer Stoppuhr vorgenommen werden.

Zweckmäßig ist hier die Fernbedienung nach Abschnitt 2.4 einzusetzen.

Auch die externe Torsteuerung ist über die Eingangsbuchsen möglich.

Bei der Wahl der Zeitbasis ist neben der geforderten Meßgenauigkeit auch die Zählkapazität, d. h. die zur Verfügung stehende Anzahl von Dekaden, zu beachten. Soll zum Beispiel eine Frequenz in der Größenordnung von 10^5 Hz gemessen werden, so wird man bei einem vierstelligen Zähler die Zeitbasis "0,1 s" wählen und die Anzeige mit zehn multiplizieren. Nimmt man die Zeitbasis "1,0 s", so erreicht man zwar eine größere Genauigkeit, jedoch muß der Überlauf dann mitgezählt werden.

Die Größe des Fehlers wird durch die Genauigkeit der Zeitbasis bestimmt. Bei hochwertigen Geräten werden die Zeitbasen von der Frequenz eines Zeitmarkengenerators durch mehrfache dekadische Teilung abgeleitet.

Für Drehzahlmessungen gilt das gleiche wie für Frequenzmessungen. Als Zeitbasis müßte eine Minute gewählt werden; um kürzere Meßzeiten zu erhalten, kann man den Geber zum Beispiel so auslegen, daß bei einer Umdrehung zehn Impulse abgegeben werden — die Meßzeit verkürzt sich dann auf sechs Sekunden. Bei sechs Impulsen je Umdrehung beträgt die Zeitbasis zehn Sekunden.

Bei der Messung der Frequenz elektrischer Schwingungen wird das Signal dem Digitalzähler POLYDIGIT 1 direkt über Buchse (1) oder (2), Kontakt 1, zugeführt; eventuell ist noch eine Verstärkung auf eine Spannung von größer als 1 V erforderlich.

Soll die Frequenz von mechanischen oder akustischen Schwingungen bestimmt werden, so ist ein geeigneter Wandler erforderlich, zum Beispiel eine Induktionsspule, ein Mikrophon oder ein Lichtempfänger.

Für Drehzahlmessungen kommen meistens induktive und photoelektrische Geber in Betracht, wie sie bereits im Abschnitt 3.1.4 und 3.1.2 beschrieben wurden. Mechanische Kontakte können nur bei kleinen Drehzahlen benutzt werden (Abschnitt 3.1.1).

Folgende Handlungen (Aktionen) müssen bei Frequenz- und Drehzahlmessungen in der vorliegenden Reihenfolge ausgeführt werden:

A 1 — Versuchsanordnung aufbauen;

A 2 — POLYDIGIT 1 durch Drücken der Taste EIN in Betrieb setzen; Programmtaste "1,0 s" oder "0,1 s" drücken;

A 3 — Zeitbasis wie in Abschnitt 2.3 beschrieben eichen, anschließend Taste "100 Hz" lösen;

A 4 — Geber in die Versuchsanordnung einbauen und mit einer abgeschirmten Leitung mit Buchse (1) oder (2) (je nach Frequenz) verbinden;

A 5 — Komma mit Welle (6) an die richtige Stelle rücken und die richtige Maßeinheit in das beleuchtete Fenster einsetzen;

A 6 — Messung mit der Taste MESSEN ausführen; wenn die Anzeige steht, Taste sofort wieder lösen und Meßwert ablesen. Nach dem Lösen der Taste sollten wenigstens 3 Sekunden vergehen, bevor erneut gemessen wird;

A 7 — Zähler mit Taste NULL zurückstellen und Messung mehrmals wiederholen.

Spezielle Hinweise werden noch bei den folgenden Experimenten gegeben. Es empfiehlt sich, A 6 und A 7 (ohne Geber) mehrmals vor der Messung durchzuführen, um die Elektrolytkondensatoren zu formieren.

3.4.1 Messung der Frequenz elektrischer Schwingungen

Geräte: POLYDIGIT 1

abgeschirmte Leitung mit Diodenstecker oder Adapter

Schwingungserzeuger

(a) Die immer zur Verfügung stehende Frequenz des technischen Wechselstromes soll zunächst gemessen werden. Als Spannungsquelle ist ein Stromversorgungsgerät für Niederspannung geeignet. Etwa 6 V sind für diese Messung ausreichend. Man beachte, daß die maximale Eingangsspannung 100 Volt nicht überschritten wird (Effektivwert bei sinusförmiger Wechselspannung etwa 70 Volt).

Bei unsymmetrischen Spannungen muß die Masseleitung auch an die Masse des POLYDIGIT 1 gelegt werden!

Die Messung wird nach A 1 bis A 7 durchgeführt. Die Zeitbasis „1,0 s" wird gewählt. Die Anzeige erfolgt somit direkt in Hertz (Hz).

(b) In gleicher Weise wie unter (a) beschrieben läßt sich zeigen, daß die Pulsfrequenz bei der Einweggleichrichtung des technischen Wechselstromes 50 Hz und bei der Zweiweggleichrichtung 100 Hz beträgt. Ladekondensator und Siebkette dürfen nicht in den Gleichrichterschaltungen sein.

(c) Die Frequenz eines beliebigen Generators ist genauso zu bestimmen. Bis 10 kHz wird die Zeitbasis „1,0 s" und darüber "0,1 s" verwendet.

Bild 3.48 zeigt als Beispiel die Frequenz eines freischwingenden, astabilen Multivibrators in Abhängigkeit von der Betriebsspannung. Bei jeder eingestellten Spannung U_B wurde fünfmal die Frequenz gemessen. Aus diesen fünf Meßwerten wurde der Mittelwert gebildet.

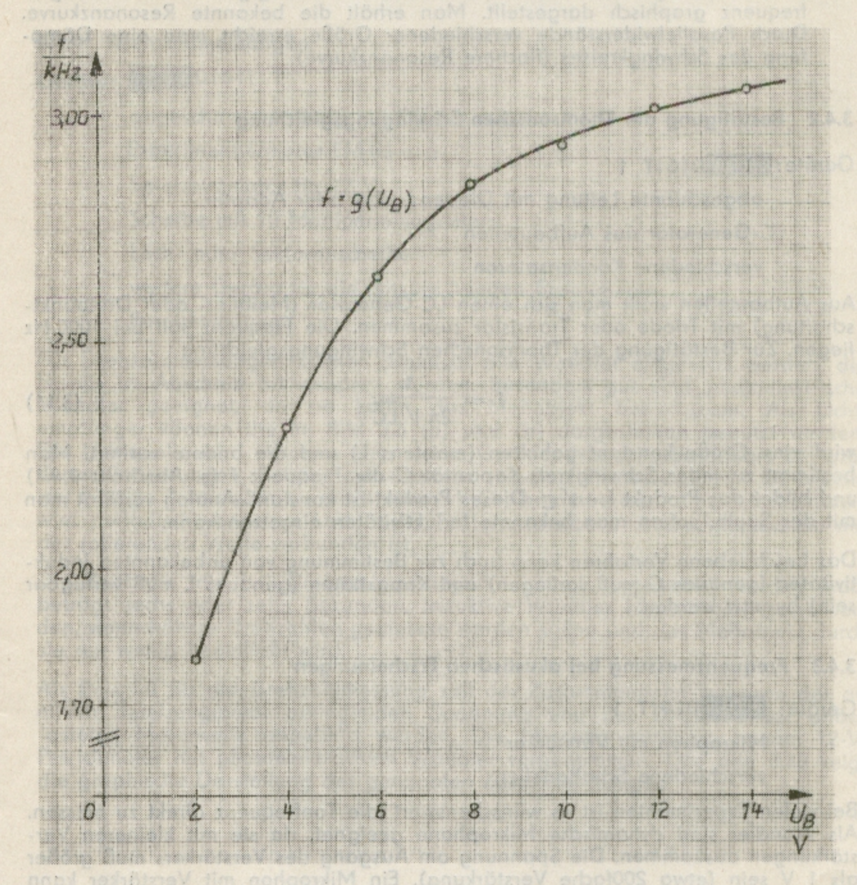


Bild 3.48 Frequenz f eines astabilen Multivibrators in Abhängigkeit von der Betriebsspannung U_B

(d) Bei der Aufnahme von Resonanzkurven kann man ebenfalls die Frequenz direkt mit dem POLYDIGIT 1 messen. Mit Teilen des SEG Halbleiter-Hochfrequenz (Nr. 02 540) stellt man sich einen LC-Generator zusammen. Die Frequenz ändert man durch entsprechende Kondensatoren; sie wird mit dem

POLYDIGIT 1 bestimmt. Ein Parallelschwingkreis mit fester Induktivität L und Kapazität C wird an den Generator angekoppelt. In diesem Schwingkreis wird der Strom gemessen.

Nach dem Probelauf des Generators ändert man durch Parallelschalten von Kondensatoren die Frequenz und mißt dazu die Stromstärke im angekoppelten Schwingkreis. Die Stromstärke wird in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz graphisch dargestellt. Man erhält die bekannte Resonanzkurve. Durch Parallelwiderstände verschiedener Größe erreicht man eine Dämpfung des Schwingkreises (flachere Resonanzkurve).

3.4.2 Bestätigung der Thomsonschen Schwingungsgleichung

Geräte: POLYDIGIT 1

abgeschirmte Leitung mit Diodenstecker oder Adapter

LC-Generator aus Aufbauteilen

verschiedene Kondensatoren

Aus Aufbauteilen stellt man sich einen LC-Generator (Meißner- oder Dreipunktschaltung) mit Triode oder Transistor zusammen. Die Frequenz soll bei 1000 Hz liegen. Zur Bestätigung der Thomsonschen Schwingungsgleichung

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \tag{3.11}$$

wird eine Größe konstant gehalten (meistens L) und die andere variiert. Man bestimmt zu jeder Schwingkreis-Kapazität C die Frequenz f (s. Abschnitt 3.4.1) und bildet das Produkt $f \cdot \sqrt{C}$ Dieses Produkt ist konstant. Analog verfährt man mit der Spule, sofern man bekannte Induktivitäten einsetzen kann.

Das beschriebene Verfahren kann auch zur Bestimmung von unbekannten Induktivitäten (genaues C muß vorliegen) und Kapazitäten (genaues L muß verfügbar sein) benutzt werden.

3.4.3 Frequenzmessung bei akustischen Erscheinungen

Geräte: POLYDIGIT 1

Mikrophon mit Verstärker

verschiedene Schallquellen

Bei vielen Experimenten ist es wünschenswert ,die Tonfrequenz direkt zu messen. Als Wandler sind dynamische Mikrophone geeignet, da sie mit kleineren Verstärkungen auskommen. Die Spannung am Ausgang des Verstärkers muß größer als 1 V sein (etwa 200fache Verstärkung). Ein Mikrophon mit Verstärker kann noch für viele andere Experimente im Physikunterricht eingesetzt werden. Zur Messung der Frequenz wird das Mikrophon möglichst nahe an die Schallquelle herangebracht. Die Zeitbasis "1,0 s" sollte gewählt werden.

Folgende Experimente erfordern eine Frequenzmessung:

- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft und anderen Gasen;
- Resonanz und Schwebungen mit Stimmgabeln auf Resonanzböden;
- Nachweis des Zusammenhangs zwischen Spannung der Saite eines Monochords und der Tonhöhe (Frequenz);
- Frequenzmessungen zum Doppler-Effekt (Tonbandaufnahme).

Bei Tonschwingungen treten häufig Oberwellen auf, die zur Verfälschung der Messung führen können.

Die Frequenz einer Stimmgabel kann auch mit einem Kopfhörersystem als Wandler bestimmt werden. Die Membrane wird entfernt, die Spule bringt man möglichst nahe an die schwingende Stimmgabel. Eine Verstärkung ist meistens erforderlich.

3.4.4 Drehzahlmessungen

Geräte: POLYDIGIT 1

abgeschirmte Leitung mit Diodenstecker

Experimentiermotor EM 03 o. ä.

Spielzeugmotor für 12 V

Scheibe mit 10 Manipermmagneten

Loch- oder Sektorenscheibe

weitere Geräte für die entsprechenden Experimente

Fernbedienung

Für Drehzahlmessungen können praktisch alle Wandler eingesetzt werden, die bereits im Abschnitt 3.1 genannt wurden. Besonders gut sind photoelektrische Wandler geeignet, da sie kaum das Meßobjekt beeinflussen. Als Lichtempfänger können die im Bild 3.5 (a) und (b) dargestellten benutzt werden. Die Lichtquelle wird meistens eine starke Optikleuchte sein, besonders bei größeren Entfernungen. Beträgt der Abstand zwischen Photodiode und Lichtquelle nur wenige Zentimeter, so reicht eine 6-V-Skalenlampe aus. Diese Lichtschranke wird periodisch von einer Loch- oder Sektorenscheibe unterbrochen, welche mit der rotierenden Welle verbunden ist.

Die Zeitbasis, die bei Drehzahlmessungen manuell eingegeben werden muß, beträgt sechs oder zehn Sekunden. Induktive Wandler können eingesetzt werden, wenn höhere Drehzahlen gemessen werden sollen und das Meßobjekt durch sie nur wenig beeinflußt wird.

Als Beispiel für die Drehzahlmessung soll der Zusammenhang zwischen der an einem Spielzeugmotor anliegenden Spannung und der Drehzahl der unbelasteten Motorwelle angeführt werden. Die Messung wurde an einem 12-V-Petrichmotor mit photoelektrischem Wandler vorgenommen. Das Bild 3.49 zeigt die graphische Darstellung des genannten Zusammenhanges.

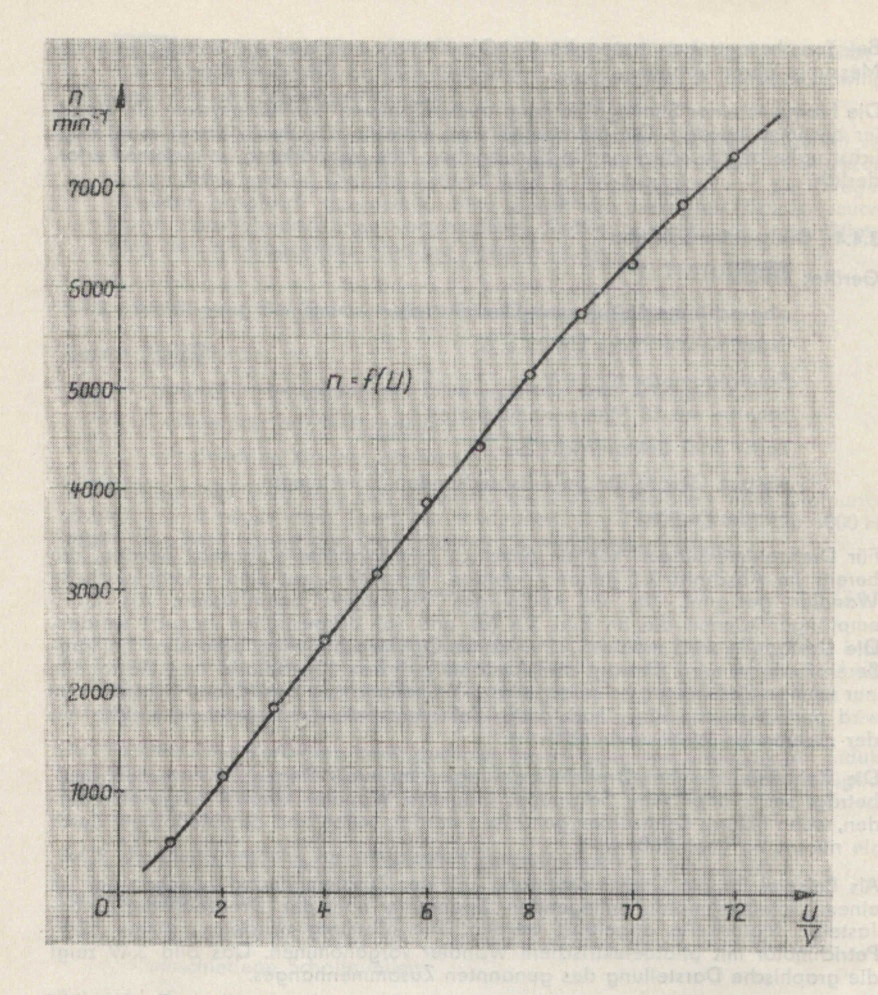


Bild 3.49 Drehzahl eines unbelasteten Kleinstmotors in Abhängigkeit von der Betriebsspannung

3.5 Weitere Anwendungen

In den vorangegangenen Abschnitten 3.1 bis 3.4 wurde versucht, die mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten des Digitalzählers POLYDIGIT 1 in dieser ersten Ausstattungsstufe aufzuzeigen. Damit ist jedoch der Einsatzbereich nicht abgeschlossen; die folgenden Abschnitte sollen Anregungen geben für einige Sonderaufgaben, die auch auf Zählungen zurückzuführen sind.

3.5.1 Demonstration des Prinzips eines Serienrechners

Geräte: POLYDIGIT 1

abgeschirmte Leitung oder Adapter

Wandler nach Abschnitt 3.1

2 Lochbänder oder -karten

Umschalter

Die Schaltung wird nach dem Blockschaltbild (Bild 3.50) zusammengestellt. Als "Speicher" der Informationen dienen Lochbänder oder -karten, die durch eine Führung gezogen werden. Die Abtastung erfolgt mechanisch nach Abschnitt 3.1.1 (Federdraht gegen Metallführung) oder photoelektrisch nach Abschnitt 3.1.2.

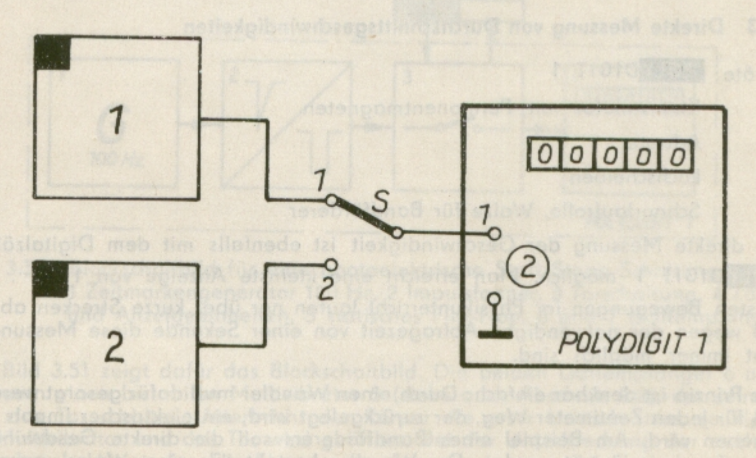


Bild 3.50 Blockschaltbild zum Prinzip des Serienrechners

Zur Demonstration wird erst der Speicher 1 abgefragt, nach der Umschaltung mit Schalter S Speicher 2. Die Summe erscheint im Anzeigefeld des POLYDIGIT 1 Die Taste MESSEN bleibt bei diesem Versuch immer gedrückt.

3.5.2 Zentraluhr mit Sekundenanzeige

Geräte: POLYDIGIT 1

Taktgeber

Wandler nach Abschnitt 3.1

Die Verwendung des POLYDIGIT 1 als Zentraluhr, wie es im Abschnitt 3.3.1 beschrieben wurde, ist vielfach nicht befriedigend. Für den dort beschriebenen Zweck kann ein einfacher Taktgeber dem Gerät jede Sekunde einen kurzen Schaltimpuls zuführen, so daß der Zähler nur die vollen Sekunden anzeigt.

Als Taktgeber können verschiedene Möglichkeiten genutzt werden:

- Ein kleiner Synchronmotor wird soweit untersetzt, daß die Welle eine oder zwei Umdrehungen pro Sekunde macht. In diese bohrt man ein Loch für einen Niet. Mit diesem wird pro Sekunde einmal ein mechanischer Schalter z. B. Kontaktpaar eines Relais) nach Abschnitt 3.1.1 geschlossen.
- Mit einem Metronom und einer Lichtschranke können sehr genaue Sekundenimpulse erzeugt werden. Die Pendelstange unterbricht die Lichtschranke, die seitlich vom Metronom verläuft.
- Mit astabilen Multivibratoren können bequem Sekundenimpulse erzeugt werden. In der Literatur findet man entsprechende Anleitungen zum Nachbau.

3.5.3 Direkte Messung von Durchschnittsgeschwindigkeiten

Geräte: POLYDIGIT 1

Kleinstmotor mit Permanentmagneten

Adapter

Lochscheiben

Schnurlaufrolle, Walze für Bandförderer

Die direkte Messung der Geschwindigkeit ist ebenfalls mit dem Digitalzähler POLYDIGIT 1 möglich. Man erreicht eine kleinste Anzeige von $1 \frac{cm}{s}$. Die meisten Bewegungen im Physikunterricht laufen nur über kurze Strecken ab, so daß wegen der notwendigen Abfragezeit von einer Sekunde diese Messungen nicht immer möglich sind.

Das Prinzip ist denkbar einfach: Durch einen Wandler muß dafür gesorgt werden, daß für jeden Zentimeter Weg, der zurückgelegt wird, ein elektrischer Impuls abgegeben wird. Am Beispiel eines Bandförderers soll die direkte Geschwindigkeitsmessung erläutert werden. Der Wandler besteht aus einer Walze von zehn Zentimeter Umfang (Durchmesser 3,18 cm minus einmal die Dicke des Bandes).

An dieser Walze ist eine Lochscheibe mit zehn Löchern befestigt, die photoelektrisch abgetastet wird. Die o. g. Forderung ist damit erfüllt. Mit der Zeitbasis von "1,0 s" wird der Wandler abgefragt. Die angezeigten Impulse entsprechen der Durchschnittsgeschwindigkeit der betreffenden Bewegung. Für eine Schnurlaufrolle gelten die gleichen Überlegungen wie oben.

Ein Kleinstmotor mit Permanentmagneten gibt pro Umdrehung sieben Impulse ab. Der Umfang der Walze (oder eines Friktionsrädchens) müßte für diesen Wandler sieben Zentimeter betragen. Die Abfragezeit ist auch hier eine Sekunde. Dieser "Tachogenerator" kann sehr vielfältig eingesetzt werden und ist leicht zu handhaben.

3.5.4 Photoelektrische Start-Stopp-Schaltung

Alle Versuche, bei denen mit dem mechanischen Torzeitschalter gearbeitet wurde, sind auch mit zwei Lichtschranken aufzubauen. Die Selbstanfertigung ist besonders technischen Arbeitsgemeinschaften zu empfehlen.

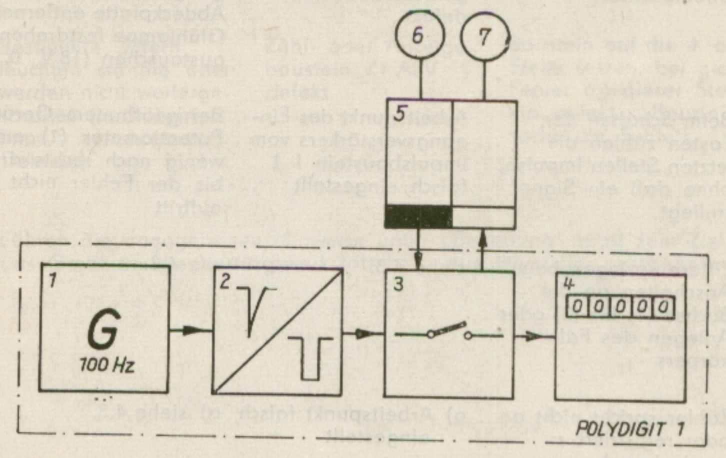


Bild 3.51 Blockschaltbild für eine photoelektrische Start-Stopp-Schaltung
1 Zeitmarkengenerator 100 Hz, 2 Impulsformer, 3 Torschaltung, 4 Zähl- und Anzeigeeinheiten, 5 statisches Flip-Flop, 6 und 7 Lichtempfänger

Das Bild 3.51 zeigt dafür das Blockschaltbild. Die beiden Lichtempfänger 6 und 7 steuern einen bistabilen Multivibrator 5 (siehe auch Abschnitt 2.2), der seinerseits das Tor schaltet. Unterbricht der Körper die erste Lichtschranke, so kippt der Multivibrator und das Tor wird geöffnet. Bei der Unterbrechung der zweiten Lichtschranke kippt das Flip-Flop in die Ausgangslage zurück und das Tor ist wieder geschlossen.

Diese Anordnung ist besonders bei höheren Zeitmarkenfrequenzen zu empfehlen, da sich bei mechanischen Schaltern dann die Trägheit bemerkbar macht.

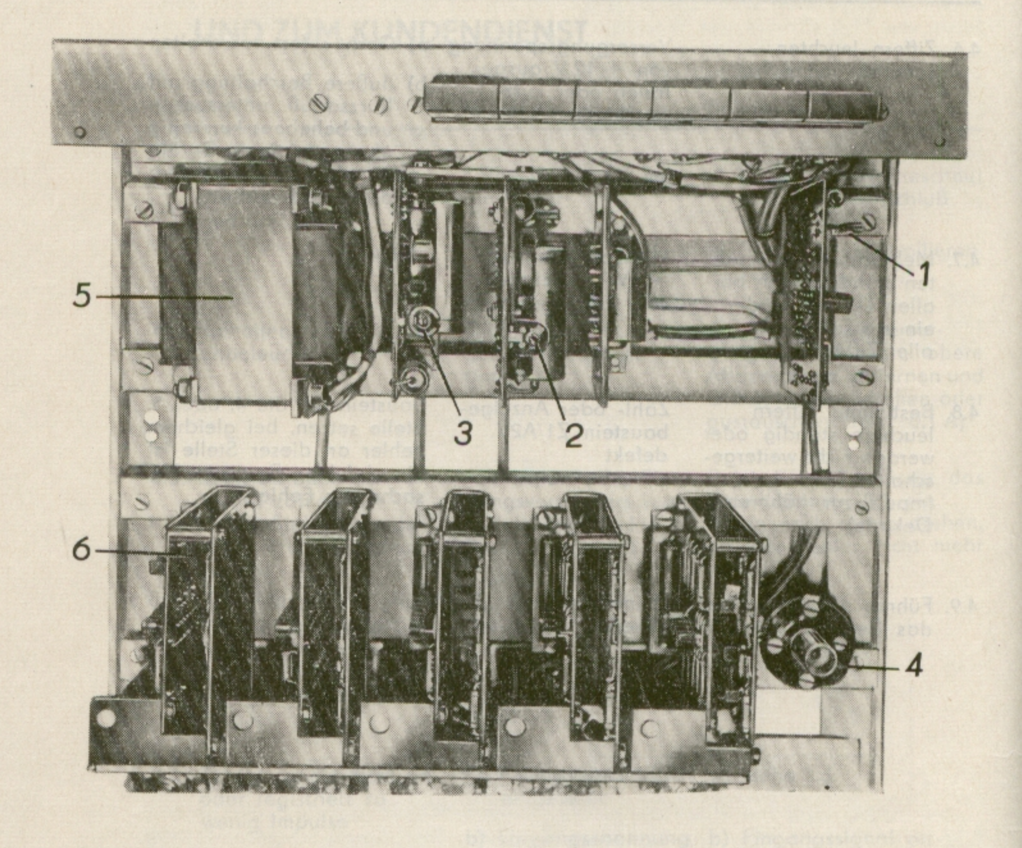
4. HINWEISE ZUR BEHEBUNG VON STÖRUNGEN UND ZUM KUNDENDIENST

Störung	Ursache	Behebung
4.1. Ziffern leuchten nicht auf, wenn Taste EIN gedrückt wird	Keine Netzspannung am Gerät	a) Steckdose, Geräteschnur und Geräteanschluß überprüfen b) Sicherung kontrollieren (250 V / 0,2 A; t)
4.2. Einheitenfenster ist unbeleuchtet	Glühlampe hat sich gelockert oder ist defekt	Gerät von Stromversorgungsnetz trennen, obere Abdeckplatte entfernen und Glühlampe festdrehen oder austauschen (18 V / 0,1 A)
4.3. Beim Schalten der Tasten zählen die letzten Stellen Impulse, ohne daß ein Signal anliegt	Arbeitspunkt des Eingangsverstärkers vom Impulsbaustein I 1 falsch eingestellt	Bei geöffnetem Gerät das Potentiometer (1) ein wenig nach rechts drehen, bis der Fehler nicht mehr auftritt
4.4. Ziffern springen beim Anschalten an die Buchse (1) bis (3) oder Anlegen des Fallkörpers	siehe 4.3.	wie 4.3.
4.5. Zähler spricht nicht an oder registriert zu wenig Impulse	a) Arbeitspunkt falsch eingestellt b) Eingangsspannung zu niedrig c) Tor zeitweise oder ständig geschlossen	a) siehe 4.3. b) Eingangssignal verstärken c) Tor öffnen, evt. äußere Beschaltung entfernen bzw. richtig einstellen

Störung	Ursache	Behebung
4.6. Ziffern leuchten schwach und diffus	Versorgungsspannung von + 12 V ausgefallen oder kurzgeschlossen	a) Gerät sofort ausschalten b) äußere Beschaltung auf Kurzschluß untersuchen und beheben; kurzzeitig ohne periphere Geräte einschalten, ob Fehler dann noch auftritt
4.7. Mehrere Ziffern leuchten ständig durch bei allen Dekaden oder ein starkes Flimmern aller Ziffern	Hilfsspannung von − 4 V ausgefallen oder kurzgeschlossen	siehe 4.6
4.8. Bestimmte Ziffern leuchten ständig oder werden nicht weitergeschaltet (auch kein Impuls zur höheren Dekade)	Zähl- oder Anzeigebaustein Z1/A2V defekt	Baustein auf die 4. oder 5. Stelle setzen, bei gleichem Fehler an dieser Stelle ist ein defekter Baustein Ursache des Fehlers

4.9. Führen die angegebenen Hinweise unter „Behebung" nicht zum Ziel, muß das Gerät an die Vertragswerkstatt bzw. zum Hersteller geschickt werden.

5.2 Bestückung



1 Einstellregler zur Einstellung des Arbeitspunktes am Impulsformer I 1

2 Einstellregler für die Einstellung der Arbeitsspannung von + 12 V

3 Einstellregler für die Einstellung der Arbeitsspannung von – 4 V

4 Lampe für die Beleuchtung des Einheitenfensters

5 Netztransformator

6 Zähldekaden und Anzeigeeinheiten

5. TECHNISCHE UNTERLAGEN

5.3 Stückliste (04 210)

5.3 Stückliste (04 210)

Die Stückliste enthält nur Teile, die außerhalb der Garantiezeit vom Benutzer selbst ausgetauscht werden können. Bei notwendigen Bestellungen ist die laufende Nummer der Liste anzugeben.

Lfd. Nr.	Benennung	Bemerkung	
18	Buchsenleiste, 15polig	TGL 200-3820	
44	Netztransformator	M 65	
54	Widerstand R 5	2,7 kOhm	
55	Widerstand R 6	820 Ohm	
56	Widerstand R 9	10 kOhm	
57	Widerstand R 10	6,2 kOhm	0,1 W / 5 %
58	Widerstand R 11	3,3 kOhm	
59	Widerstand R 12	2,7 kOhm	
60	Kondensator C 2	4,7 µF / 25 V / Tantal	
61	Kondensator C 3	47 µF / 25 V / Tantal	
62	Transistor T 2	SF 131 C	
97	Kaltgerätestecker	83 E	
99	G-Schmelzeinsatz	250 V / 200 mA träge	
100	Gehäuseschalter	TGL 10003	
101	Einstellregler R 7, R 8	100 kOhm/1	
102	Gereätesteckdose mit Nut		
103	Diodenbuchse, 5polig		
104	Mikroschalter CX 3		
105	Schiebetastensatz, 6teilig		
107	Diode D 3	GA 101	
126	Maßeinheitsanzeige komplett		
136	Mattglasscheibe		
137	Glasscheibe		
145	Frontblech mit Scheibe komplett		
157	Frontscheibe		
169	Widerstand R 1	10 kOhm	
170	Widerstand R 2	3,3 kOhm	0,1 W / 5 %
171	Widerstand R 3, R 4	10 kOhm	
173	Kondensator C 1	0,33 µF/10/160, Polyester	
174	Transistor T 1	SS 202	
175	Diode D 1, D 2	GA 101	
192	Tasche mit Maßeinheitsschablonen komplett		

Lfd. Nr.	Benennung	Bemerkung
194	Tasche, allein	
195	Schablone "Hz"	
196	Schablone "kHz"	
197	Schablone "Imp"	
198	Schablone "$\frac{1}{s}$"	
199	Schablone "s"	
200	Schablone, schwarz bedruckt	
205	Zähldekade A2V/Z 1	
213	Haube	Polyäthylenfolie
225	Netzbaustein N 1-1	
226	Netzbaustein N 1-2	
227	Impulsbaustein I 1	
228	Illuminationsfassung	E 10
229	Zwerglampe L	E 10 / 18 V / 0,1 A
230	Schuko-Kaltgeräteschnur	83 E, 2 m lang

Mitgelieferte Ersatzteile

289	Zwerglampe L	s. Pos. 229
290	G-Schmelzeinsatz	s. Pos. 99

Lieferumfang (gehört zum Gerät und ist im Preis eingeschlossen)

1 Schuko-Kaltgeräteschnur, 2 m lang

1 Tasche mit Maßeinheitsschablonen (je einmal "Imp", "s", "$\frac{1}{s}$", "Hz", "kHz"; Schablone schwarz)

1 Abdeckhaube

2 Ersatzsicherungen

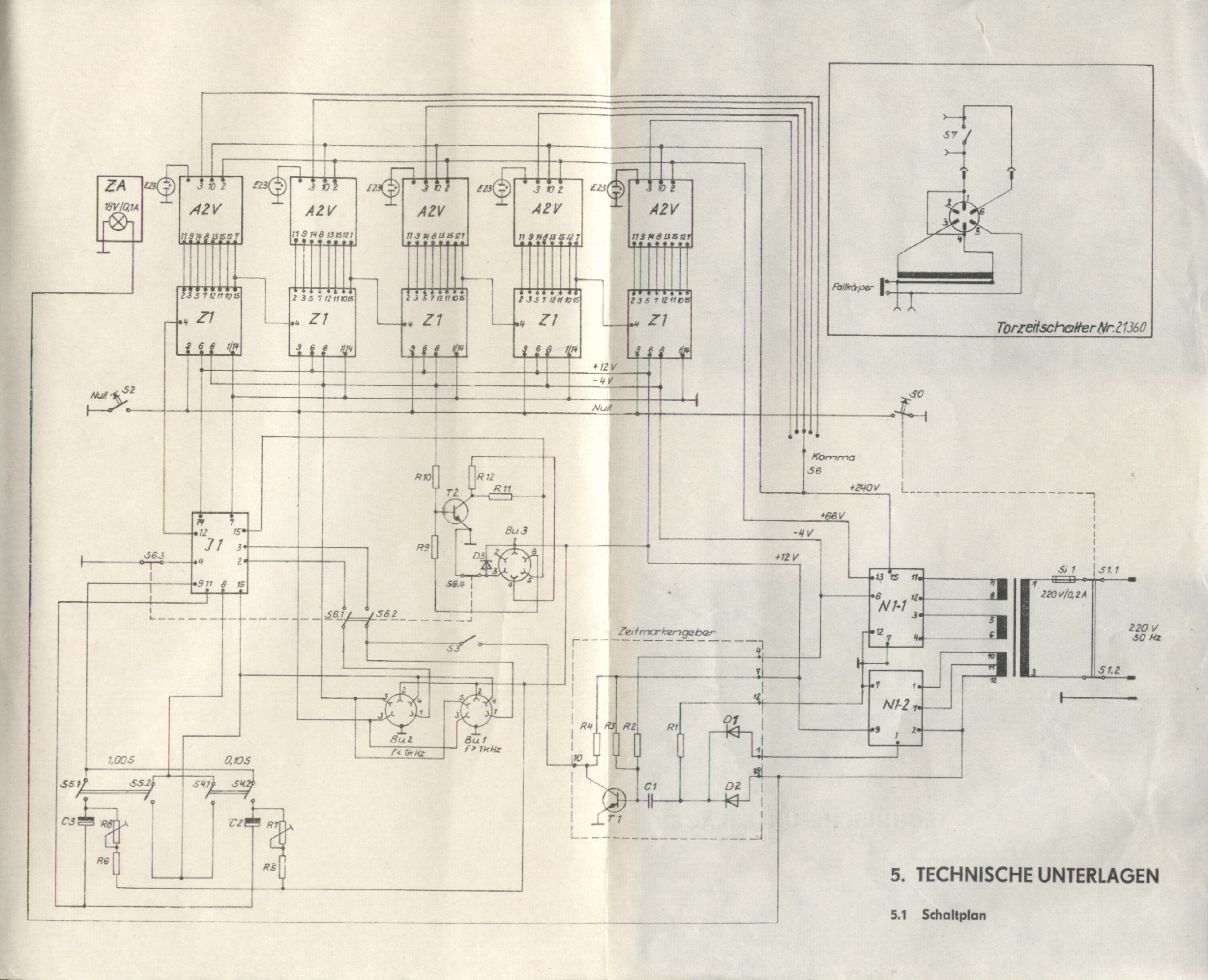
1 Ersatzlampe

1 Bedienungsanleitung

Berichtigung:

Die beiden Bilder 3.31 auf Seite 72 und 3.47 auf Seite 94 sind auszutauschen.

NOTIZEN



5. TECHNISCHE UNTERLAGEN

5.1 Schaltplan

